

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA SILNIČNÍCH STAVEB

2017



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

UŽITÍ PRYSKYŘIC V ASFALTOVÝCH SMĚSÍCH

RESINS IN ASPHALT MIXES

Vypracoval: Jiří Dymák

Vedoucí práce: Ing. Petr Mondschein, Ph.D.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Tháškova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Dymák Jméno: Jiří Osobní číslo: _____
Zadávající katedra: katedra silničních staveb
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Užití pryskeřic v asfaltových směsích

Název bakalářské práce anglicky: Resins in Asphalt Mixes

Pokyny pro vypracování:

Rozdělení pryskeřic, rešerše možnosti užití pryskeřic v asfaltových směsích, praktické ověření empirických vlastností asfaltového pojiva pryskeřicí, ověření vlastností asfaltové směsi modifikované pryskeřicí

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Petr Mondschein, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 21.2.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

21.2.2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „**Užití pryskyřic v asfaltových směsích**“ vypracoval samostatně a bez cizí pomoci, s výjimkou konzultací s vedoucím bakalářské práce. Zároveň jsem uvedl veškeré zdroje použitých obrázků, tabulek, literatury a jiných informací. Vše je zhotoveno v souladu s příručkou „Jak psát VKŠP“ dostupnou na URL: <http://knihovna.cvut.cz/cs/seminare-a-vyuka/jak-psat/jak-psat-zaverecnou-praci> v jejím znění ze dne 11. 5. 2017. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti užití této bakalářské práce či její části.

V Praze dne

.....

Jiří Dymák

.....

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Petru Mondscheinovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté rady a konzultace během zpracování této práce. Dále bych rád poděkoval celému kolektivu silniční laboratoře Českého vysokého učení technického v Praze za ochotu a pomoc při práci, zejména pak Ing. Janu Valentinovi, Ph.D., Ing. Lucii Benešové, Ing. Pavle Vackové, Ing. Adrianě Kotoušové, Ing. Janu Sudovi a panu Jaroslavu Kasalickému. Také bych rád poděkoval svému kolegovi Tomáši Proschkovi za spolupráci a za pomoc při tvorbě společné referenční asfaltové směsi.

ANOTACE

Obsahem této bakalářské práce je modifikace asfaltových pojiv pryskyřicí UNILENE A 100 a polypropylenem MOSTEN MT 230. Cílem této práce je zjištění vlivu těchto látek na charakteristické vlastnosti asfaltových pojiv a směsí. Teoretická část práce je věnována shrnutí dosavadních poznatků v oboru. V teoretické části práce se autor zabývá asfaltovými pojivy a jejich modifikací. Dále se autor zabývá základním dělením asfaltových směsí, jejich charakteristikám a problematice tvorby trvalých deformací. Praktická část práce je věnována samotné výrobě vzorků modifikovaného asfaltového pojiva a asfaltových směsí. Autor v této části popisuje postupy stanovení vlivu použitých modifikátorů na klíčové vlastnosti pojiva i asfaltové směsi. Závěrem práce je shrnutí a vyhodnocení zjištěných výsledků.

Klíčová slova: asfaltové pojivo, modifikace asfaltových pojiv, pryskyřice, polypropylen, asfaltová směs, tvorba trvalých deformací, Restaplast, laboratorní zkouška, stanovení bodu měknutí, stanovení penetrace, objemová hmotnost, modul tuhosti, pevnost v příčném tahu, odolnost vůči vodě, odolnost vůči mrazu, pevnost v tahu za ohybu, relaxace asfaltových směsí

ABSTRAKT

The main content of this bachelor thesis is the modification of asphalt binders with UNILENE A 100 resin and MOSTEN MT 230 polypropylene and the determination of the influence of these substances on the characteristics of asphalt binders and mixtures. The theoretical part of the thesis deals with the summary of the current knowledge in the field. In the theoretical part of the thesis, the author deals with asphalt binders and their modification. The author describes the basic distribution of asphalt mixtures and their characteristics. The author also deals with the issue of permanent deformations. The practical part deals with the production of samples of modified asphalt binder and asphalt mixtures. The author describes the procedures for determining the effect of the modifiers used on the key properties of the binder and asphalt mixture. The conclusion of the thesis is a summary and evaluation of the results.

Keywords: asphalt binder, asphalt binder modification, resin, polypropylene, asphalt mixture, permanent deformations, Restaplast, laboratory test, softening point determination, penetration determination, bulk density, stiffness module, tensile strength, water resistance, frost resistance, bending strength, asphalt mixtures relaxation

OBSAH

1.	ÚVOD	11
1.1.	Cíl práce	11
2.	TEORETICKÁ ČÁST.....	13
2.1.	Asfaltová pojiva.....	13
2.1.1.	Definice, složení a výroba asfaltu.....	13
2.1.2.	Charakteristické vlastnosti asfaltů	13
2.1.3.	Označení asfaltových pojiv.....	14
2.1.4.	Modifikace asfaltových pojiv	14
2.1.4.1.	Modifikátory a jejich funkce.....	15
2.1.4.2.	Polymerem modifikované asfalty.....	17
2.1.4.3.	Charakteristika použitých modifikátorů.....	18
2.2.	Asfaltové směsi.....	20
2.2.1.	Rozdělení asfaltových směsí	20
2.2.2.	Základní rozdělení asfaltových směsí dle typu směsi	21
2.2.2.1.	Asfaltový beton - AC.....	21
2.2.2.2.	VMT	22
2.2.2.3.	Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy - BBTM.....	22
2.2.2.4.	Asfaltový koberec mastixový - SMA.....	23
2.2.2.5.	Litý asfalt – MA.....	23
2.2.2.6.	Asfaltový koberec drenážní - PA.....	24
2.2.3.	Tvorba trvalých deformací	24
2.2.4.	Restaplast.....	26
2.2.5.	Charakteristika a složení použité asfaltové směsi	27
3.	PRAKTICKÁ ČÁST.....	29
3.1.	Zkoušky asfaltového pojiva	29

3.2.	Výroba vzorků	30
3.3.	Stanovení penetrace jehlou	31
3.3.1.	Přístroje a pomůcky	32
3.3.2.	Postup zkoušky.....	32
3.3.3.	Vyjádření výsledků	33
3.4.	Stanovení bodu měknutí.....	33
3.4.1.	Přístroje a pomůcky	33
3.4.2.	Postup zkoušky.....	34
3.4.3.	Vyjádření výsledků	35
3.5.	Výsledky a vyhodnocení zkoušek pojiva	35
3.6.	Zkoušky asfaltových směsí	37
3.7.	Výroba asfaltových směsí.....	38
3.8.	Příprava zkušebních těles.....	39
3.8.1.	Výroba těles rázovým zhutňovačem.....	40
3.8.2.	Výroba těles metodou lamel zatlačovaných válcem	42
3.9.	Provedené zkoušky asfaltových směsí	44
3.9.1.	Stanovení objemové hmotnosti.....	44
3.9.1.1.	Objemová hmotnost SSD	45
3.9.1.2.	Objemová hmotnost podle rozměrů.....	46
3.9.1.3.	Maximální objemová hmotnost	47
3.9.2.	Stanovení modulu tuhosti IT-CY.....	48
3.9.2.1.	Pomůcky a zařízení	49
3.9.2.2.	Průběh zkoušky	50
3.9.2.3.	Vyhodnocení zkoušky	52
3.9.3.	Stanovení odolnosti vůči vodě a odolnosti vůči vodě s aplikací zmrazovacího cyklu	52

3.9.3.1.	Pomůcky a zařízení	53
3.9.3.2.	Postup zkoušky	53
3.9.3.3.	Vyhodnocení zkoušky	55
3.9.4.	Pevnost v příčném tahu	55
3.9.4.1.	Pomůcky a zařízení	55
3.9.4.2.	Postup zkoušky	56
3.9.4.3.	Vyhodnocení zkoušky	56
3.9.5.	Stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací	57
3.9.5.1.	Pomůcky a zařízení	57
3.9.5.2.	Postup zkoušky	58
3.9.5.3.	Vyhodnocení zkoušky	58
3.9.6.	Stanovení odolnosti vůči šíření trhlin	59
3.9.6.1.	Pomůcky a zařízení	59
3.9.6.2.	Postup zkoušky	59
3.9.6.3.	Vyhodnocení zkoušky	60
3.9.7.	Stanovení pevnosti v tahu za ohybu	60
3.9.7.1.	Pomůcky a zařízení	61
3.9.7.2.	Postup zkoušky	61
3.9.7.3.	Vyhodnocení zkoušky	62
3.9.8.	Zkouška relaxace asfaltových směsí.....	62
3.9.8.1.	Pomůcky a zařízení	62
3.9.8.2.	Postup zkoušky	63
3.9.8.3.	Vyhodnocení zkoušky	64
3.10.	Výsledky a vyhodnocení zkoušek asfaltových směsí.....	64
3.10.1.	Objemová hmotnost	64
3.10.2.	Modul tuhosti IT-CY	65

3.10.3.	ITS, ITSR, ITSR _f	66
3.10.4.	Odolnost vůči tvorbě trvalých deformací	68
3.10.5.	Odolnost vůči šíření trhlin	71
3.10.6.	Pevnost v tahu za ohybu	73
3.10.7.	Zkouška relaxace	74
4.	ZÁVĚR	76
5.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	79
6.	SEZNAM TABULEK	82
7.	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
8.	SEZNAM PŘÍLOH.....	84

1. ÚVOD

V dnešní době je silniční doprava neodmyslitelnou součástí života většiny lidí. Pomocí silniční dopravy lze přepravovat v podstatě veškeré druhy komodit a vzhledem ke své flexibilitě a univerzálnosti je v současné době stěžejním druhem dopravy. Vzhledem k těmto faktům a každoročnímu nárůstu silniční dopravy jsou kladeny stále větší požadavky na silniční infrastrukturu.

Současným trendem v této oblasti je výstavba spolehlivé dopravní infrastruktury s co možná nejdelší životností. V důsledku toho jsou dnes stále vyvíjeny nové technologie zlepšující kvalitu a vlastnosti silničních staveb.

V souvislosti s tím se i v České Republice začali používat technologie na zlepšení klíčových vlastností silničních komunikací. Jednou z těchto technologií je používání speciálního druhu asfaltových směsí pro komunikace s vysokým dopravním zatížením, který je na trhu označován pojmem „**Restaplast**“.

Tento pojem se na trhu objevuje jako asfaltová směs používaná do obrusných a ložních vrstev vozovek s vysokým dopravním zatížením, avšak ani odborné veřejnosti není známo skutečné složení a způsob výroby této asfaltové směsi.

1.1. Cíl práce

Cílem této práce je laboratorní výroba asfaltové směsi, která bude při použití do ložních nebo obrusných vrstev vozovky odolávat trvalým deformacím a jejíž vlastnosti budou splňovat požadavky již zmíněného Restaplastu.

Bakalářská práce je rozdělena na část teoretickou a část praktickou. Dílčím cílem teoretické části práce je obeznámit čtenáře se základní problematikou tématu asfaltových pojiv a směsí. V této části práce se autor věnuje shrnutí dosavadních poznatků o asfaltových pojivech se zaměřením na jejich modifikaci. Dále se autor věnuje v dnešní době používaným asfaltovým směsím, jejím charakteristickým vlastnostem a rozsahu použití.

Praktická část této práce je věnována samotné laboratorní výrobě modifikovaného asfaltového pojiva a stanovení jeho vlastností pomocí empirických zkoušek v laboratoři. Na asfaltových pojivech autor provedl následující empirické zkoušky:

- Stanovení penetrace jehlou
- Stanovení bodu měknutí

Pomocí těchto zkoušek autor vyhodnotí vliv použitých modifikátorů na klíčové vlastnosti asfaltového pojiva. Na základě výsledků zkoušek asfaltového pojiva se bude autor dále věnovat výrobě asfaltových směsí a stanovení jejich vybraných mechanicko-fyzikálních a reologických vlastností. Pro stanovení těchto vlastností budou použity následující zkoušky a metody:

- Objemová hmotnost SSD
- Objemová hmotnost podle rozměrů
- Maximální objemová hmotnost
- Modul tuhosti
- Odolnost vůči tvorbě trvalých deformací
- Odolnost vůči šíření trhlin
- Odolnost vůči vodě
- Odolnost vůči vodě s aplikací zmrazovacího cyklu
- Pevnost v tahu za ohybu
- Relaxace asfaltových směsí

V samotném závěru této práce se autor věnuje vyhodnocení získaných výsledků.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Asfaltová pojiva

2.1.1. Definice, složení a výroba asfaltu

Výraz ‚ropný asfalt‘ se používá v případě popisu rafinované živice. Jedná se o uhlovodíkový produkt získaný odstraněním lehčích frakcí, jako je zkapalněný ropný plyn, benzin a motorová nafta, ze surové ropy v průběhu procesu rafinace. [1]

Asfalt může být dále upraven oxidací při zvýšených teplotách, čímž se mění jeho fyzikální vlastnosti pro komerční využití. [1]

Asfalty vyráběné ze surové ropy bychom neměli zaměňovat s „přírodními asfalty“, které jsou ve většině případů pro tento účel nepoužitelné. Přírodní asfalty se vyskytují např. v jezeře Trinidad, dále ve Venezuele a také v Albánii. Tyto asfalty často obsahují vysoký podíl minerálních látek (až 37 % hmotnostních) a lehkých složek, což vede při zahřátí k vyšší ztrátě jejich hmotnosti. [1] [2]

Elementární analýzou vzorků asfaltu vyrobených ze vzájemně odlišných zdrojů ropy bylo dokázáno, že většina asfaltů obsahuje následující složky:

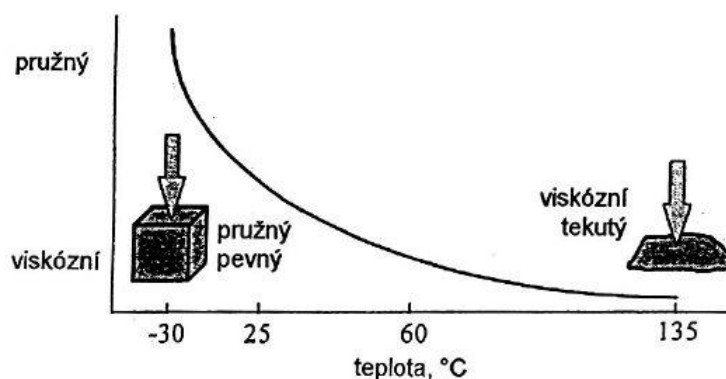
- uhlík 82 až 88 %
- vodík 8-11 %
- kyslík 0 až 1,5 %
- síru 0-6 %
- dusík 0-1 % [1]

2.1.2. Charakteristické vlastnosti asfaltů

Asfalt se vyznačuje svou poměrně vysokou citlivostí na teplotu. Při nižších teplotách je charakteristický svou pružností (elasticitou) a při vyšších teplotách ho lze popsat jako viskózní kapalinu. Za běžné teploty se u asfaltů objevují obě tyto vlastnosti, přímo závislé na změnách teploty. Asfalty lze tedy označit za visko-elastické materiály. [1]

Z výše uvedených charakteristických vlastností lze tedy odvodit, že k největším deformacím na vozovce dochází v důsledku dlouhodobého zatížení při působení

vysokých teplot, jak můžeme pozorovat v místech před světelnými křižovatkami nebo na zastávkách hromadné dopravy. [1]



Obrázek č. 1 – Asfalt – visko-elastický materiál [3]

2.1.3. Označení asfaltových pojiv

Označování asfaltových pojiv určují platné technické normy. V České Republice jsou to tyto normy:

- ČSN EN 12591 Asfalty a asfaltová pojiva - Specifikace pro silniční asfalty [3]
- ČSN EN 14023 Asfalty a asfaltová pojiva - Systém specifikace pro polymerem modifikované asfalty [4]

Tyto normy jsou českou verzí evropských norem. Výše uvedené normy specifikují vlastnosti a závazné zkušební metody pro silniční asfalty vhodné pro použití v silničním stavitelství a údržbě. [3]

Označování silničních asfaltových pojiv přímo souvisí s penetrační zkouškou. Číselný zlomek označující pojivo vyjadřuje rozmezí hodnot penetrace pro daný typ pojiva. Charakteristická hodnota je obvykle uváděna bez upřesnění jednotky, proto se vždy udává v jednotkách decimilimetrů (0,1 mm). [3]

Označení modifikovaných asfaltových pojiv je dále doplněno o hodnotu bodu měknutí daného pojiva. [4]

2.1.4. Modifikace asfaltových pojiv

Asfaltové směsi s konvenčním asfaltovým pojivem mají uspokojivou přilnavost i mechanické vlastnosti pro použití v asfaltových vozovkách v převážné většině dopravních a klimatických podmínek, které se vyskytují. Avšak požadavky, kladené na silniční komunikace, se zvyšují každým rokem, a to hlavně z důvodů: [1]

- zvýšení srážek a větších výkyvů teplot
- zvýšení hmotnosti na nápravu, tlak v pneumatikách a pohyb nákladů, což vede k vyšší nutnosti údržby a následně zvýšeným nákladům pro vlastníky komunikací
- pokračující poptávka po finanční efektivnosti a úspory nákladů na snížení četnosti údržby, s cílem minimalizovat narušení plynulosti silničního provozu a zajistit tak zvýšenou životnost [1]

Z těchto důvodů poruchy vozovky nastávají dříve, než se očekává. Jednou z možností eliminace těchto problémů je právě modifikace asfaltových pojiv, pro zajištění lepších vlastností konstrukcí vozovek. Použití jednotlivých modifikačních technologií závisí na konkrétní aplikaci a požadovaných specifických vlastností modifikované směsi. [1]

Modifikovaná pojiva jsou asfalty, jejichž vlastnosti byly změněny použitím chemického činidla, které při přidání do původního asfaltu mění chemickou strukturu, fyzikální nebo mechanické vlastnosti daného asfaltu. Vzhledem k tomu, že asfaltové pojivo je odpovědné za viskoelastické chování asfaltové směsi, hraje velkou roli při určování mnoha aspektů výkonnosti silničních komunikací. Vlastnosti asfaltového pojiva mají přímý vliv zejména na odolnost vůči deformacím a trhlinám, což jsou dva nejčastější důvody poruch silničních vozovek. [1]

Nejčastěji používané modifikátory jsou elastomery, plastomery, recyklovaný pryžový granulát, modifikátory viskozity a reaktivní polymery. Modifikací se vyvíjí také další speciální asfalty pro silniční a průmyslové aplikace, jako je například použití čirých pigmentovatelných pojiv, multigrádové asfalty a vývoj za studena aplikovatelných asfaltových směsi. [1]

2.1.4.1. Modifikátory a jejich funkce

V důsledku již uvedených příčin a vysokých nároků na kvalitu, je pro silně zatížené komunikace třeba využívání nových výkonnostnějších pojiv. Jednou z možností docílení těchto požadavků, je právě přidávání modifikačních přísad pro zlepšení vlastností silničního asfaltu. Obvykle se jedná o organické makromolekulární látky, kterými lze docílit: [2]

- Zvýšení bodu měknutí a snížení bodu lámavosti (rozšíření oboru plasticity pojiva)
- Nižší teplotní citlivost
- Lepší adhezi mezi asfaltem a kamenivem, lepší kohezi pojiva
- Lepší odolnost proti trvalým deformacím
- Lepší únavové vlastnosti
- Zvýšená odolnost proti stárnutí pojiva [2]

Jednou z hlavních rolí mnoha modifikátorů je zvýšit odolnost asfaltových směsí proti deformaci vozovky při vysokých teplotách bez nepříznivého ovlivnění vlastností směsi nebo pojiva při jiných teplotách. Toho lze dosáhnout jedním z následujících dvou způsobů, které mají za následek snížení trvalého namáhání. Prvním přístupem je vytvrzení pojiva tak, aby se snížila celková viskoelastická odezva asfaltové směsi. Druhým přístupem je zvýšení pružné složky asfaltového pojiva, čímž se snižuje viskózní složka. Zvýšení tuhosti pojiva také zvyšuje dynamickou tuhost asfaltové směsi. To zlepší schopnost rozložení zatížení materiálu, zvýší pevnost konstrukce a prodlouží očekávanou životnost vozovky. [1]

V následující tabulce jsou uvedeny základní typy používaných modifikátorů a jejich příkladů.

Typ modifikátoru	Příklady
Termoplastické elastomery	Styren-butadienový elastomer Styren-butadien-styrenový elastomer Styren-butadienový kaučuk
Latex	Přírodní kaučuk
Termoplastické polymery	Etylen-vinylacetát, Etylen-methyl akrylát, Etylen-butyl akrylát
Polymery vytvrditelné teplem	Polyuretanová pryskyřice, Epoxidová pryskyřice, Akrylová pryskyřice, Fenolová pryskyřice
Chemické modifikátory	Organokovové sloučeniny, Síra, Kyselina fosforečná, kyselina polyfosforečná
Recyklované materiály	Drcený kaučuk, plasty
Vlákna	Celulóza, Skleněné vlákna, Azbest, Polyester, Polypropylen
Modifikátory soudržnosti	Organické aminy, Amidy
Přírodní asfalty	Přírodní asfalty
Reaktivní polymery	Terpolymer ethylenu
Modifikátory viskozity	Fluxové oleje

Tabulka 1 - Základní typy používaných modifikátorů a jejich příklady [1]

2.1.4.2. Polymerem modifikované asfalty

Polymery jsou nejběžnějším typem modifikátorů. Polymery jsou dlouhé chemické řetězce tvořené více menšími sloučeninami – monomery, které jsou spojeny dohromady. Polymery se od sebe rozlišují různým počtem monomerů, a proto se liší různou délkou řetězce. K modifikaci asfaltových pojiv lze využít jen určité typy délek řetězce. Z vlastností jednotlivých molekulárních jednotek, jejich množství v polymerovém řetězci a jejich kombinování s jinými typy molekul vychází fyzické a chemické charakteristiky polymeru. [5]

Podle těchto charakteristik rozlišujeme 3 základní typy polymerů:

- **„Elastomery** - jako elastomer označujeme polymer tvořený flexibilní „kaučukovou“ páteří a dlouhými postranními řetězci ve své struktuře. Podíl těchto modifikátorů na všech vyrobených PmB činí globálně cca 75 %. Nejznámějším příkladem elastomeru v silničním stavitelství je styren-butadien-styren (SBS) a styren-butadien-kaučuk (SBR).“ [5]
- **„Plastomery** - plastomer je polymer, který se při teplotách okolo bodu tání deformuje plasticky a při nízkých teplotách nabývá pevnosti a tuhosti, resp. jeho struktura je při působení tepla vratně rozkládána. Podíl těchto modifikátorů na všech vyrobených PmB činí globálně cca 15 %. Příkladem takového materiálu je např. etylen-vinyl-acetát (EVA), polypropylen (PP) nebo polyetylen (PE).“ [5]
- **„Reaktoplasty** - reaktoplasty jsou polymery vytvářející prostorově trojrozměrnou síť. Zesíťování nastává až při působení katalyzátoru v podobě chemické sloučeniny, či působení tlaku a tepla. Vzniklé plasty jsou pevnější než jednorozměrné polymery a jsou vhodnější k užití při vysokých teplotách. Jako negativum je třeba zmínit jejich větší křehkost a problémy s recyklací, neboť reaktoplasty nelze znovu roztavit a tvářit, ale při teplotě blízké bodu tání u nich dochází k rozkladu struktury. Příkladem jsou epoxidové a akrylátové pryskyřice nebo polyuretany.“ [5]

Plastomery modifikují asfaltové pojivo tím, že vytvářejí tvrdou, tuhou, trojrozměrnou síť, která odolává deformacím, na rozdíl od elastomerů, které mají

charakteristickou vysokou elastickou odezvou a deformacím odolávají tím, že se vrací do svého původního tvaru. [1]

Některé plastomery se používají v asfaltovém průmyslu jako alternativa k elastomerům. Polymery jako polyetylen, polypropylen, polyvinylchlorid, polystyren a kopolymer etylen-vinylacetát (EVA) jsou hlavní termoplastické polymery bez kaučuku, které byly v posledních desítkách let zkoumány. Jako termoplastické polymery se vyznačují měknutím při zahřívání a vytvrzením při chladnutí. Tyto polymery mají po přidání do pojiva daleko větší tendenci ovlivňovat hodnoty penetrace, než hodnoty bodu měknutí, což je opačná tendence termoplastických elastomerů. [1]

2.1.4.3. Charakteristika použitých modifikátorů

Jak již autor zmínil, tak cílem této práce je pozorovat vliv modifikace asfaltových pojiv polypropylenem a pryskyřicí na asfaltovou směs. Jako vzorky modifikátorů měl autor práce k dispozici polypropylen s výrobním označením **Polypropylene MOSTEN MT 230** a pryskyřici s výrobním označením **Unilene Resin A 100**. Autor v této kapitole uvádí informace, které měl v době zpracování o použitých modifikátorech k dispozici.

Polypropylene MOSTEN MT 230

„Polypropylen Mosten MT 230 je vysoko-tekoucí homopolymer s úzkou distribucí molekulových hmotností a s obsahem antistatického a nukleačního činidla. Aditivační systém zajišťuje vysokou transparentnost, antistatickou úpravu a lesk výrobku.“ [7]

PP Mosten MT 230 je dostupný ve formě přírodního granulátu s hodnotami sypké hmotnosti 450-600 kg/m³. Tento polymer je charakteristický dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi. Rozsah teplot tání krystalických částí homopolymerů je 160-168 °C.

Výrobce dále uvádí, že v závislosti na snížení teploty materiálu se snižuje jeho houževnatost. Při teplotách pod -20°C je polypropylen už velice křehký. [7]

Technické specifikace použitého polypropylenu jsou uvedeny v příloze č. 1 této práce.



Obrázek č. 2 – PP Mosten MT 230 (vlevo) [zdroj vlastní], Konzistence použitého polymeru PP Mosten MT 230 (vpravo) [zdroj vlastní]

Unilene Resin A 100

Unilene Resin A 100 je uhlovodíková pryskyřice C9 nenasycená. Výrobce udává, že jde o termoplastickou pryskyřici s nízkou molekulovou hmotností vyrobenou katalytickou polymerací uhlovodíků kontinuálním procesem. [8]

Pryskyřice je vyráběna ve formě sypkých tabletek vločkovitého tvaru světle žluté barvy. Výrobce udává teplota tání je 96 – 105 °C.[8]



Obrázek č. 3 –Unilene Resin A 100 (vlevo) [zdroj vlastní], konzistence Unilene Resin A 100 (vpravo) [zdroj vlastní]

Dostupné technické specifikace použité pryskyřice jsou uvedeny v příloze č. 2 této práce.

2.2. Asfaltové směsi

Asfaltovou směsí se rozumí směs kameniva a asfaltového pojiva, v některých případech také dalších přísad. Jako asfaltové pojivo může být asfalt, ředěný asfalt nebo asfaltová emulze. Hlavní složkou asfaltové směsi je kamenivo, které tvoří základ směsi tak, že jednotlivá zrna jsou vzájemně v kontaktu a do sebe zaklíněna, tato zrna jsou spojena přidáním asfaltovým pojivem. [9]

„Za horka zpracovávané asfaltové směsi se skládají z 93 - 96 % hmotnostního podílu kameniva a 4 - 7 % asfaltového pojiva. Kamenivo má objemovou hmotnost cca 2650 kg/m³ a asfaltové pojivo 1000 - 1020 kg/m³. Ve zhuštěné asfaltové směsi tedy zabírá kamenivo objemově 80 - 85 %, asfaltové pojivo 10 - 17 %, 3 - 5 % je nevyplněno (mezery).“ [9]

Pro správné určení těchto dvou hlavních materiálů a určení typu asfaltové směsi je rozhodující očekávané dopravní zatížení, klimatické vlivy na jednotlivé vrstvy vozovky a návrhová úroveň porušení. Návrh typu asfaltové směsi provádí projektant. Samotný návrh asfaltové směsi se provádí na základě výpočtu konstrukcí vozovky, předpokládaného postupu výstavby a místních zvyklostí, přičemž je třeba dbát na místní zvyklosti i dostupnost materiálů v místě stavby. Návrh složení asfaltové směsi vzniká jako racionální kompromis mezi požadavky na pevnostní parametry, odolnost proti trvalým deformacím a mezi požadavky na odolnost proti klimatickým vlivům. O využití modifikovaných asfaltů se ve většině případů rozhodne již ve fázi projektové přípravy. [10] [9]

2.2.1. Rozdělení asfaltových směsí

Asfaltové směsi se dělí podle složení, způsobu výroby a způsobu pokládání na směsi hutněné a lité.

Hutněné asfaltové směsi

„Hutněné asfaltové směsi představují třífázový systém tvořený pevnou fází (kostra kameniva) kapalnou fází (asfaltové pojivo) a plynnou fází (vzduchové mezery).“ [2] Kamenivo tvoří základ směsi a jeho hlavním účelem je přenos dopravního zatížení. Zatížení je přenášeno tím, že jednotlivá zrna kameniva se vzájemně dotýkají, jsou do sebe zaklíněna a pojivo spojuje jednotlivá zrna dohromady. Plynná fáze udává mezerovitost směsi, je ovlivněna množstvím pojiva a křivkou zrnitosti kameniva.

Hutněné asfaltové směsi jsou po rozprostření hutněny pro dosažení požadované mezerovitosti a míry zhutnění. [2]

Lité asfaltové směsi

„Na rozdíl od hutněných asfaltových směsí jsou lité asfalty dvoufázovým systémem tvořeným pevnou fází – kamenivem a kapalnou fází – asfaltovým pojivem.“

[2] V litých asfaltových směsích se volí takové množství pojiva, aby v horkém stavu byly veškeré mezery směsi kameniva zaplněny s přebytkem. U litých asfaltů je zatížení přenášeno především pojivem a kamenivo zde tvoří pouze funkci plniva. Tento typ asfaltových směsí není třeba při pokládce hutnit. [2]

2.2.2. Základní rozdělení asfaltových směsí dle typu směsi

V této kapitole autor popisuje několik základních typů asfaltových směsí využívaných v silničním stavitelství. Tyto typy směsí definují normy ČSN EN 13108 a technický předpis TP 151 definující směs typu VMT. V následujících podkapitolách jsou charakterizovány nejpoužívanější asfaltové směsi.

2.2.2.1. Asfaltový beton - AC

Asfaltový beton označován zkratkou AC (zkratka je odvozena z anglického názvu *asphalt concrete*) je nejčastěji využívanou asfaltovou směsí v silničním stavitelství. Tento typ je charakteristický plynulou čarou zrnitosti (Fullerova parabola). Všechny frakce kameniva součinně vytváří základ této směsi. Tento typ směsi je možné využít pro stavbu krytu silničních a dálničních vozovek, letištních a jiných zpevněných ploch. Směs je vyráběna v obalovnách a při dokonalém zhutnění je vodotěsná. Požadavky pro směsi skupiny asfaltového betonu používaného pro vozovky pozemních komunikací, letištní a jiné dopravní plochy stanovuje norma ČSN EN 13108-1. [9] [2] [10]

Značení směsí AC

Značení asfaltových betonů vychází z požadavků normy ČSN EN 13108-1. Označení směsi asfaltového betonu vzniká doplněním základní zkratky AC:

- Symbolem O (Obrusná vrstva), L (Ložná vrstva) nebo P (Podkladní vrstva) podle použití v konstrukční vrstvě vozovky
- Číslem D, představující velikost horního oka síta nejhrubší frakce kameniva ve směsi.

- Označení zatřídující směs dle kvalitativních požadavků:
 - **S** – směs se zvýšenou odolností proti tvorbě trvalých deformací
 - **+** - směsi nahrazující kvalitativní třídu směsí I podle ČSN 73 6121
 - **Bez označení** ⇒ směsi nahrazující kvalitativní třídu směsí II a III podle ČSN 73 6121
 - **CH** ⇒ směsi pro nemotoristické komunikace a chodníkové úpravy
- Dále se označení doplní o druh použitého pojiva [12]

Příklad označení: ACL 16 S 50/70; ČSN EN 13108-1

Vysvětlení: Asfaltový beton pro ložní vrstvu vozovky, který vyhovuje kvalitativním požadavkům stanoveným pro třídu S, s maximální velikostí zrna 16 mm a pojivem 50/70; odpovídající norma

2.2.2.2. VMT

Asfaltová směs s vysokým modulem tuhosti označována zkratkou VMT. Tato směs je určená pro podkladní a ložní vrstvy vozovek, zejména s vyšším dopravním zatížením. Požadavky a specifikace na směsi VMT uvádí TP 151.

Jedná se o směs s vyšším obsahem pojiva a plynou křivkou zrnitosti. Do tohoto typu směsi se používají tvrdé, multigrádové a modifikované silniční asfalty. Výsledná směs by měla mít modul tuhosti minimálně 9000 MPa při teplotě 15°C. Směsi VMT jsou využívány hlavně na extrémně zatížené úseky, dálnice a rychlostní komunikace. [2] [12]

2.2.2.3. Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy - BBTM

Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy označován zkratkou BBTM (zkratka je odvozena z francouzského názvu *Bétons bitumineux très minces*) je směs určená do obrusných vrstev vozovek. Dle použité největší frakce kameniva je směs pokládána v tloušťkách 20-35 mm a lze ji využít na všechny typy komunikací. Její hlavní výhodou je malá tloušťka, což se značně projeví na menších nákladech v případě nutnosti odfrézování obrusné vrstvy vozovky, než u asfaltového betonu. Často je také využívána tam, kde je nutné nahradit pouze část obrusné vrstvy, jelikož malá tloušťka této vrstvy nezpůsobí anebo způsobí minimální nadvýšení stávající nivelety. Požadavky pro různé druhy směsí skupiny asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy s využitím pro vozovky

pozemních komunikací, letištní a jiné dopravní plochy stanovuje norma ČSN EN 13108 - 2. [2] [11]



Obrázek č. 4 – Pokládka barevného koberce BBTM 8A+ [2]

2.2.2.4. Asfaltový koberec mastixový - SMA

Asfaltový koberec mastixový označován zkratkou SMA (zkratka je odvozena z anglického názvu *stone mastic asphalt*) je směs využívaná nejčastěji jako obrušná vrstva vozovek pro dálniční a rychlostní komunikace. SMA pochází ze 70.let z Německa, v České Republice se začala využívat začátkem 90.let. Jedná se o směs charakteristickou vysokým podílem drceného kameniva, zpravidla s přerušenou čarou zrnitosti. Základ směsi tvoří kamenivo frakce 8/11, případně 8/16 nebo 4/8. Ten je doplněn mastixem, což je směs drobného kameniva zrna do 2mm, vápencovým fillerem a asfaltem. Požadavky pro směsi skupiny asfaltového koberce mastixového používaného pro vozovky pozemních komunikací, letištní a jiné dopravní plochy stanovuje norma ČSN EN 13108-5. [2] [12]

2.2.2.5. Litý asfalt – MA

Litý asfalt označován zkratkou MA (zkratka je odvozena z anlického názvu *mastic asphalt*) je směs dvoufázového systému, u kterého nejvýznamnější složkou přenášející zatížení je pojivo. MA je typický vysokým obsahem vápenocementového filleru (25 až 30 %) a vysokou teplotou při zpracování (až 250 °C) z důvodu využití tvrdých asfaltů ve směsi. Požadavky pro různé druhy litého asfaltu s využitím pro vozovky pozemních komunikací, letištní a jiné dopravní plochy stanovuje norma ČSN EN 13108-6. [2] [13]

2.2.2.6. Asfaltový koberec drenážní - PA

Asfaltový koberec drenážní označován zkratkou PA (zkratka je odvozena z anglického *porous asphalt*) je směs využívaná do obrusných vrstev vozovky charakteristická svou značnou mezerovitostí, a to 17 až 30 %. Směs s mezerovitostí těchto hodnot je schopná velmi dobře odvádět vodu a redukovat hlučnost. Hlavní nevýhodou jsou vysoké nároky na údržbu a také velká náchylnost směsi proti účinkům mrazu. Pro eliminaci působení klimatických vlivů na směs se často do pojiva těchto směsí přidávají modifikátory. Požadavky pro různé druhy asfaltového koberce drenážního používané pro vozovky pozemních komunikací, letištní a jiné dopravní plochy stanovuje norma ČSN EN 13 108-7. [2] [14]



Obrázek č. 5 – Schopnost drenážního koberce odvádět vodu [2]

2.2.3. Tvorba trvalých deformací

V této kapitole by chtěl autor popsat jednu z nejčastějších poruch vozovek a to vznik deformace vozovky. Deformace vozovky mohou být různého typu způsobené různými příčinami. Jak již bylo zmíněno, tak právě modifikace asfaltového pojiva může některým z těchto poruch předejít, a proto se touto problematikou autor alespoň okrajově zabývá. Mezi deformace vozovek řadíme:

Olamování okrajů vozovky – tato porucha se projevuje podélnými nebo síťovými trhlinami vozovky a v pokročilé fázi poklesem a deformací okraje vozovky. Tento jev je způsoben nedostatečnou šířkou komunikace. Stopy těžkých vozidel zasahují na samotný okraj vozovky, kde může být horší kvalita konstrukčních vrstev a okraje vozovky jsou navíc vystaveny účinkům vody stékající z povrchu.

Puchýře v litém asfaltu – tato porucha se projevuje jako vyvýšené místo obrusné vrstvy vozovky způsobené nahromaděním vodních par pod touto vrstvou za vysokých teplot. Puchýřům lze předcházet vhodnou ložní vrstvou, schopnou odvádět vodní páry.

Nepravidelné hrboly – porucha zapříčiněná opakovanými opravami vozovky na hranici životnosti s použitím různých typů asfaltových směsí.

Plošná deformace vozovky – tato porucha se projevuje nepravidelným střídáním výstupků a prohlubní ve vozovce nejčastěji v místech opakovaného zatěžování. Příčinou poruchy může být nehomogenita, špatné dimenzování nebo nedostatečné hutnění vrstev vozovky. Ke vzniku plošných deformací přispívají nekvalitní asfaltové směsi.

Vyjeté koleje – jde o deformaci vozovky ve stopách kol nákladních automobilů, vznikající hlavně na místech se zpomalenou nebo zastavující dopravou za působení vysokých letních teplot.



Obrázek č. 6 – vyjetá kolej na autobusové zastávce (vlevo) [9], vytlačení asfaltové směsi na okraj vozovky (vpravo) [10]

Při vysokých teplotách dochází k měknutí pojiva a ztrátě jeho tmelícího účinku. V případě špatně navržené asfaltové směsi s nízkou mezerovitostí dochází k tomu, že změkklé asfaltové pojivo zaplňuje mezery kamenné kostry a následně tlačí zrna kameniva od sebe, čímž zaniká základní stabilita asfaltové vrstvy a na vozovce se objevují hluboké koleje s vytlačenou asfaltovou směsí na okraje vozovky. Vyjetí kolejí může být

zapříčiněno také vyčerpáním únosnosti podloží, nebo jeho nedostačující únosností, takovéto koleje jsou doprovázeny vznikem trhlin.

Právě této poslední uvedené poruše se dá zabránit nejenom správným návrhem asfaltové směsi, ale také použitím **modifikovaných asfaltových pojiv** s vyšším bodem měknutí.

2.2.4. Restaplast

Pojem Restaplast je pro tuto práci zásadní, avšak zdroje informující o asfaltových směsích tohoto typu je velmi málo. V této krátké kapitole jsou uvedeny informace, které byly v době zpracování této bakalářské práce o tomto pojmu k dispozici. Informace z tohoto zdroje byly dále využity pro vyhodnocení výsledků praktické části této bakalářské práce.

„Restaplast je hutněná, modifikovaná asfaltová úprava se zvýšenou tuhostí, vhodná pro ložné a obrusné vrstvy extrémně namáhaných vozovek, zejména pak pro úseky před světelně řízenými křižovatkami, stoupací pruhy, pro autobusové zastávky apod.“ [19]

K výrobě Restaplastu je používáno hrubé drcené kamenivo frakce 4/8, 8/16, 16/22, drobné těžené a drobné drcené kamenivo frakce 0/4. Kamenivo musí svými vlastnostmi odpovídat požadavku ČSN 73 6121:1994 na kamenivo do asfaltového betonu. Pojivo použité k výrobě musí splňovat požadavky na silniční asfalty. Přesné vlastnosti modifikátorů jsou určeny licenčními technologickými zásadami a chráněny licenčním tajemstvím. Jedná se o směsnou přísadu na bázi polypropylenu a pryskyřice. [19]

Základní fyzikálně mechanické vlastnosti Restaplastu musí splňovat hodnoty uvedené v následující tabulce.

Vrstva Druh restaplastové směsi	Ložní REST-L	Obrusná REST-O
Zrnitost směsi kameniva	0-22	0-16 ¹⁾ , 0-11
Počet úderů	2*75	2*50
Stabilita SM v kN	min. 13)14-18)	min. 13 (14-17)
Přetvoření PM v 1/10 mm	15-40 (20-35)	15-40 (20-35)
Míra tuhosti TM	min. 45 (50-70)	min. 45 (50-70)
Mezerovistost M v % obj. ³⁾	3-8 (4-7)	2-6 (3-5)
Mezerovistost M _k v % obj. ³⁾⁶⁾	min. 15 (16)	min. 18 (19)
Stupeň vyplnění mezer pojivem S _v v % ³⁾⁶⁾	60-75 (63-72)	72-83 (75-82)
Další doporučené údaje pro restaplastovou směs:		
Modul tuhosti v tlaku ⁶⁾ S(60) v MPa	min. 25	min. 20
Hloubka vyjeté koleje po 10 000 pojezdech ⁶⁾ v mm	max. 1,2	max. 1,4
Tloušťka vrstvy po zhutnění v mm	60-80(50-90) ⁴⁾	60(50-70) ⁴⁾
Míra zhutnění v % ⁵⁾	min. 97	min. 97
Poznámky: ¹⁾ Ve výjimečných případech lze směs 0-16 použít i pro ložní vrstvy (nikoli pod LA). ²⁾ Údaje v závorkách jsou určeny pro výsledky průkazných zkoušek. ³⁾ Stanoveno v rozpustidle. ⁴⁾ Jen ve výjimečných případech. ⁵⁾ Míra zhutnění by neměla přesáhnout 100 %. ⁶⁾ Doporučené nezávazné hodnoty.		

Tabulka 2 – Základní vlastnosti Restaplastu [19]

2.2.5. Charakteristika a složení použité asfaltové směsi

Ke zjištění vlivu modifikace asfaltového pojiva na mechanicko-fyzikální a reologické vlastnosti asfaltových směsí byla v této práci zvolena asfaltová směs **asfaltového betonu pro ložní vrstvy**.

Asfaltový beton pro ložní vrstvy, zkratkou označován jako ACL 16 je asfaltová směs, obsahující velikost zrn kameniva nejvýše 16 mm. Tyto směsi jsou pokládány do ložních vrstev vozovky v tloušťce 50 až 70 mm. Jsou to směsi polotěžce až těžce zhutnitelné v závislosti na jejich složení. Směsi ACL 16 vyráběné pro menší dopravní zatížení, mohou být vyráběny i ve variantách ACL 16+ pro středně těžké až těžké zatížení a také jako ACL 16S pro velké dopravní zatížení s použitím modifikovaných asfaltů. Třídění značení směsí asfaltového betonu stanovuje norma ČSN EN 13108-1 a bylo popsáno v kapitole 2.2.2.2. [20] [12]

Pro přípravu směsí asfaltového betonu pro ložní vrstvy bylo v této práci dle ČSN 13108-1 použity následující složky:

- Kamenivo frakce 11/16 z lomu Zbraslav 27,3 %
- Kamenivo frakce 8/11 z lomu Zbraslav 10,9 %
- Kamenivo frakce 4/8 z lomu Zbraslav 14,6 %
- Kamenivo frakce 0/4 z lomu Zbraslav 19,1 %
- Kamenivo frakce 0/4 z lomu Lašovice 19,1 %
- Filler 4,5 %
- Pojivo 50/70 4,4 %

3. PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část této bakalářské práce je rozdělená na dva oddíly. První oddíl praktické části se bude věnovat laboratorní výrobě modifikovaných asfaltových pojiv v různých variantách a jejich empirickým zkouškám. Na základě vyhodnocení zkoušek asfaltového pojiva bude v druhém oddíle praktické části práce laboratorně vyráběna asfaltová směs s použitím autorem vybraného a vyrobeného modifikovaného pojiva. Kromě této směsi bude vyrobena směs referenční, v které bude použito pojivo bez modifikátorů. Z vyrobených asfaltových směsí budou připravena zkušební tělesa, na kterých budou provedeny laboratorní zkoušky pro stanovení základních mechanicko-fyzikálních vlastností. V závěru práce budou vyhodnoceny výsledky jednotlivých zkoušek a vzájemně porovnány vlastnosti modifikované a nemodifikované referenční směsi.

3.1. Zkoušky asfaltového pojiva

V tomto oddíle praktické části se bude autor věnovat laboratorní výrobě modifikovaných pojiv, jejich elementárním zkouškám, následným vyhodnocením a vzájemným porovnáním těchto zkoušek. Pro účely této bakalářské práce byly poskytnuty vstupní materiály průmyslovými výrobci. Jedná se o asfaltové pojivo 50/70, **granulát PP MOSTEN MT 230** a uhlovodíkovou pryskyřici **Unilene Resin A100**, tyto vstupní materiály autor blíže specifikoval v teoretické části této práce. Autor uvádí, že u jednotlivých vstupních materiálů nebyly prováděny fyzikální ani chemické rozbory, autor čerpal pouze z informací poskytnutých výrobcí. K vyhodnocení vlivu modifikátorů na pojivo zvolil autor následující empirické zkoušky prováděných na základě níže uvedených platných norem:

- **Stanovení bodu měknutí** metodou kroužek a kulička – popisuje norma ČSN EN 1427
- **Stanovení penetrace jehlou** – popisuje norma ČSN EN 1426

Na základě konzultace s vedoucím práce bylo rozhodnuto o výrobě celkem deseti vzorků asfaltových pojiv. Pro zhodnocení vlivu na vlastnosti pojiva byly připraveny 3 vzorky pro jednotlivé modifikátory s množstvím od 1% do 3% a zároveň pro zhodnocení vlivu spolupůsobení obou modifikátorů další 3 vzorky. Jako referenční vzorek bylo použito nemodifikované asfaltové pojivo.

V následující tabulce je uveden přehled vyrobených vzorků pojiva, množství přidávaných modifikátorů a jejich identifikační označení v rámci této práce.

Označení vzorku	Množství pojiva 50/70 (%)	Množství PP Mosten MT 230 (%)	Množství Unilene Resin A 100 (%)
R	100	0	0
A1	99	1	0
A2	98	2	0
A3	97	3	0
B1	99	0	1
B2	98	0	2
B3	97	0	3
C1	98	1	1
C2	96	2	2
C3	94	3	3

Tabulka 3- Přehled a označení vyrobených vzorků asfaltového pojiva

3.2. Výroba vzorků

Prvním krokem bylo nahřátí základního pojiva umístěním do předehřáté sušárny na 150 °C, kde bylo nahříváno po dobu přibližně 90 minut. Po dosažení tekuté konzistence asfaltu bylo odlito přibližně 130 g asfaltového pojiva do připravené míchací nádoby. Po navážení přesného množství pojiva v nádobě byla tato nádoba přemístěna do laboratorního míchadla.



Obrázek č. 7 – Laboratorní míchadlo (vlevo) [zdroj vlastní], navážení přesného množství modifikátoru (vpravo) [zdroj vlastní]

Na počátku bylo pojivo mícháno malými otáčkami, než bylo dosaženo požadované teploty uvnitř pojiva. Během této doby bylo naváženo přesné množství modifikátoru určeného do daného vzorku. Po přidání modifikátoru byl vzorek míchán zvýšenými otáčkami na cca 160 ot. /minutu do doby kdy bylo dosaženo homogenní konzistence vzorku. Následující tabulka uvádí teploty a časy potřebné pro dosažení homogenity jednotlivých vzorků. V tabulce záměrně není uvedena referenční směs R, která nebyla umisťována do míchadla.

Vzorek	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Teplota vzorku při míchání (°C)	180			170			180		
Čas míchání (min)	60			45			60		

Tabulka 4 – Teploty a časy míchání k dosažení homogenity vzorků

Při výrobě vzorků bylo dbáno na to, aby vzorky nebyly vystavovány teplotám vyšším, než bylo třeba pro dosažení homogenity, což by mohlo vést k znehodnocení a degradaci pojiva. Po dokončení míchání byly vzorky připraveny k rozlévání do forem a nádob odpovídajícím zvoleným zkouškám.

3.3. Stanovení penetrace jehlou

Stanovení penetrace jehlou je základní empirická zkouška, z které je vyvozeno označení asfaltových pojiv. Tato zkouška by měla zjišťovat vlastnosti pojiv za středních teplot. Základní principem zkoušky penetrace je stanovení hloubky proniknutí jehly daných rozměrů do analytického vzorku asfaltového pojiva za přesně stanovených podmínek. Vzorek asfaltového pojiva musí být vytemperovaný na teplotu 25 °C, do vzorku je nechána pronikat jehla při zatížení 100 g a to po dobu 5 s. Hodnota penetrace je uvedena v penetračních jednotkách (1 p. j. = 0,1 mm). Z výše uvedených informací o zkoušce vyplývá, že například silniční asfalt označený 50/70 má hodnoty naměřené zkouškou penetrace 5 až 7 mm. Zkouška penetrace jehlou vychází z normy ČSN EN 1426. [2] [18]

3.3.1. Přístroje a pomůcky

Nezbytnými pomůckami pro provedení zkoušky je penetrometr, penetrační jehla, nádoby na vzorky pojiva, vodní lázeň a teploměr. Přesné požadavky na pomůcky ke zkoušce jsou uvedeny v již zmíněné normě ČSN EN 1426. [18]



Obrázek č. 8 – Penetrometr s teploměrem a digitálním měřením hodnot vpichu (vlevo) [zdroj vlastní],
vzorky pojiva připravené k provedení zkoušky (vpravo) [zdroj vlastní]

3.3.2. Postup zkoušky

Po homogenizaci směsi se asfaltové pojivo nalije do připravené nádoby na zkoušku. Mělo by se jednat o nádobu s plochým dnem válcového tvaru, vyrobenou z kovu nebo skla. Nádoba se naplní tak, aby po natemperování vzorku na teplotu 25 °C byla výška hladiny minimálně o 10 mm větší než je předpokládaná hodnota protlačení jehly. Po nalití se vzorek nechá vychladnout na teplotu 15 až 30 °C, poté se umístí do vodní lázně s konstantní teplotou 25 °C. Temperování vzorku ve vodní lázni trvá přibližně 90 minut. V dalším kroku je nutné prohlédnout držák jehly a jeho vodící zařízení, zda se držák pohybuje správně volně ve svém vodícím zařízení. Penetrační jehlu je třeba před vložením do držáku očistit toluenem nebo jiným rozpouštědlem. Dále je třeba se přesvědčit, zda je jehla rovná a nijak nepoškozená. Po uchycení je hrot jehly spuštěn těsně nad hladinu pojiva v nádobce a zatížená jehla se uvolní na dobu 5 vteřin. Z displeje

přístroje se odečte naměřená hodnota penetrace. Následuje vyjmutí jehly ze vzorku a opakování cyklu. Tímto způsobem se provedou minimálně 3 platná měření pro každý vzorek pojiva. [18]

3.3.3. Vyjádření výsledků

Pro vyhodnocení výsledků je možné vzít v úvahu hodnoty v maximálním rozdílu hodnot mezi nejvyšším a nejnižším stanovením:

- 2 pro hodnoty do 49 (penetrace v 0,1 mm)
- 4 pro hodnoty od 50 do 149 (penetrace v 0,1 mm)

Výsledná hodnota penetrace je vyjádřením platných stanovení jako aritmetického průměru v desetínách milimetru zaokrouhleného na nejbližší celé číslo. [18]

3.4. Stanovení bodu měknutí

Zkouška stanovení bodu měknutí – kroužek kulička (zkratkou označována jako K&K) je další ze základních empirických zkoušek asfaltového pojiva. Jedná se o zkoušku charakterizující vlastnosti pojiv za vyšších teplot. Základním cílem této zkoušky je zjištění hodnoty bodu měknutí asfaltového pojiva. Principem této zkoušky je řízené oteplování pojiva, při působení vlastní váhy kuličky určených rozměrů a hmotnosti. Za bod měknutí se označuje teplota v °C, kdy se kulička dostane vlastní vahou skrz vzorek na podložku umístěnou 25 mm pod uchyceným vzorkem. Zkouška je definována normou ČSN EN 1427. [2] [19]

3.4.1. Přístroje a pomůcky

Nezbytnými pomůckami pro provedení zkoušky bodu měknutí je zkušební zařízení pro kroužek a kuličku, dva mosazné kroužky pro odlití vzorku, odlévací destička potřená separačním prostředkem, dvě kuličky z korozivzdorné oceli o daném průměru a hmotnosti, dva mosazné středící prstence pro kuličky, držák kroužků k upevnění v určené poloze a skleněná kádinka s destilovanou vodou, která bude sloužit jako lázeň ohřívající vzorky.

3.4.2. Postup zkoušky

Na připravenou odlévací destičku ošetřenou separačním prostředkem se položí odlévací kroužky. Nahřáté pojivo se opatrně odlije do připravených kroužků a po vychladnutí kroužků s pojivem se seříznutím odstraní přebytečné pojivo tak, aby byla hladina pojiva zarovnána s hranou kroužku. Pro další postup je třeba mít připravenou lázeň s destilovanou vodou, netemperovanou na teplotu $(5 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$. Do otvorů v držáku se umístí seříznuté kroužky se vzorky a na ty se umístí středící kroužky pro kuličky. Natemperované kuličky na $5 \text{ }^\circ\text{C}$ umístíme do středících kroužků. Následně se takto připravená sestava vloží do skleněné kádinky naplněné vychlazenou destilovanou vodou tak, aby byl povrch lázně $(50 \pm 3) \text{ mm}$ nad horním okrajem kroužků.



Obrázek č. 8 – Sestava ponořená do lázně v kádince (vlevo) [zdroj vlastní], zkušební zařízení pro kroužek a kuličku (vpravo) [zdroj vlastní]

Sestava v lázni se umístí do zkušebního zařízení. Do lázně se vloží teploměr, magnet pro míchání při ohřevu a zařízení se spustí. Vodní lázeň se vzorky je rovnoměrně ohřívána a v důsledku toho roste deformace vzorků a kuličky se postupně propadají skrz vzorky. Zkouška končí v okamžiku, kdy se obě kuličky propadnou o $(25 \pm 4) \text{ mm}$, což automaticky zaznamená světelný paprsek zařízení a výsledné hodnoty se odečtou z displeje přístroje.

3.4.3. Vyjádření výsledků

Zkoušku je třeba opakovat v případě, že rozdíl mezi odečtenými hodnotami je větší než 1 °C pro bod měknutí pod 80 °C včetně. U modifikovaných asfaltů nesmí maximální rozdíl teplot překročit 1,5 °C. Výsledná hodnota bodu měknutí se spočítá jako průměr odečtených teplot zaokrouhlený na nejbližší 0,2 °C.

3.5. Výsledky a vyhodnocení zkoušek pojiva

V této kapitole autor vyhodnotí výsledky provedených zkoušek pojiva a zdůvodní výběr vzorku pojiva pro výrobu asfaltové směsi.

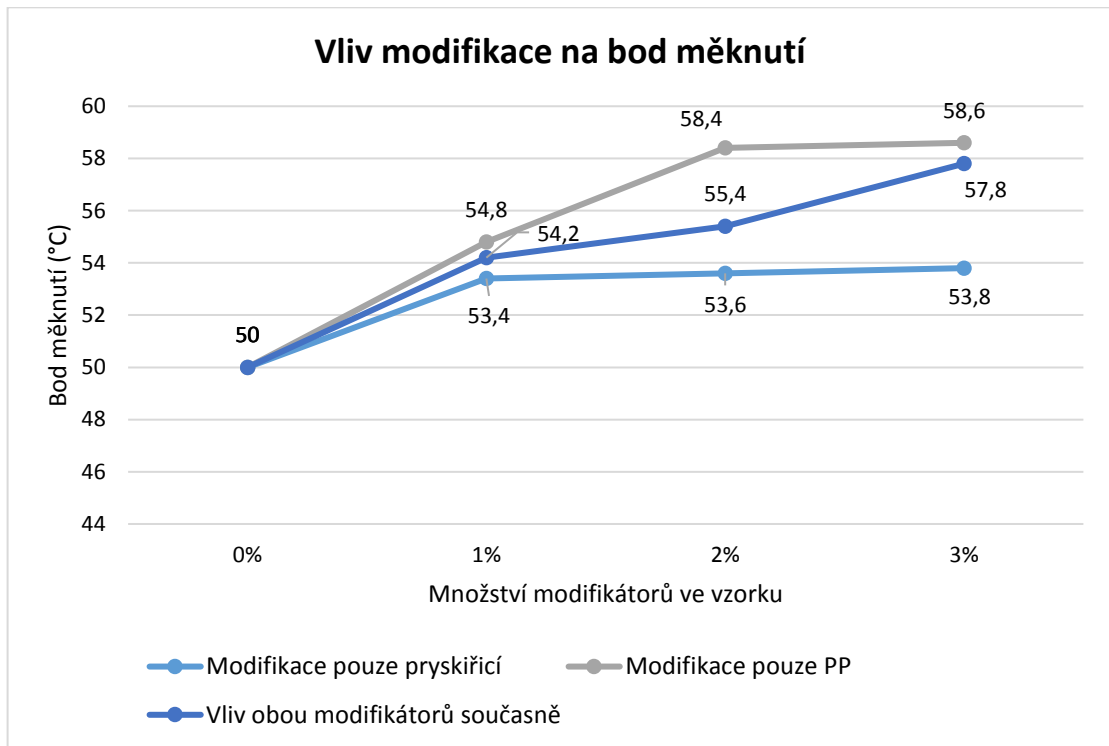
První fakt, který ze získaných výsledků vyplývá je, že použité pojivo normově vyhovuje požadavkům na bod měknutí i penetraci. Pro pojivo 50/70 by se bod měknutí měl pohybovat v rozmezí 46-54 °C a hodnota penetrace, jak víme z označení, mezi 50 a 70 p.j., což se u naměřených hodnot referenční směsi potvrdilo. Ze získaných výsledků dále můžeme pozorovat, že u obou modifikátorů byl zjištěn pozitivní vliv na měřené vlastnosti pojiva. V následující tabulce je představen přehled výsledků provedených zkoušek. Pro přehlednost působení jednotlivých modifikátorů autor znovu uvádí jejich množství v jednotlivých vzorcích pojiva.

Výsledky provedených zkoušek pojiva				
Vzorek	Množství PP (%)	Množství Pryskyřice (%)	Výsledný průměr bodu měknutí (°C)	Výsledný průměr penetrace (0,1 mm)
R	0	0	50,0	50,8
A1	1	0	54,8	31,9
A2	2	0	58,4	29,2
A3	3	0	58,6	26,1
B1	0	1	53,4	37,7
B2	0	2	53,6	36,5
B3	0	3	53,8	34,8
C1	1	1	54,2	35,9
C2	2	2	55,4	32,0
C3	3	3	57,8	25,8

Tabulka 5 – Souhrnná tabulka výsledků zkoušek pojiva

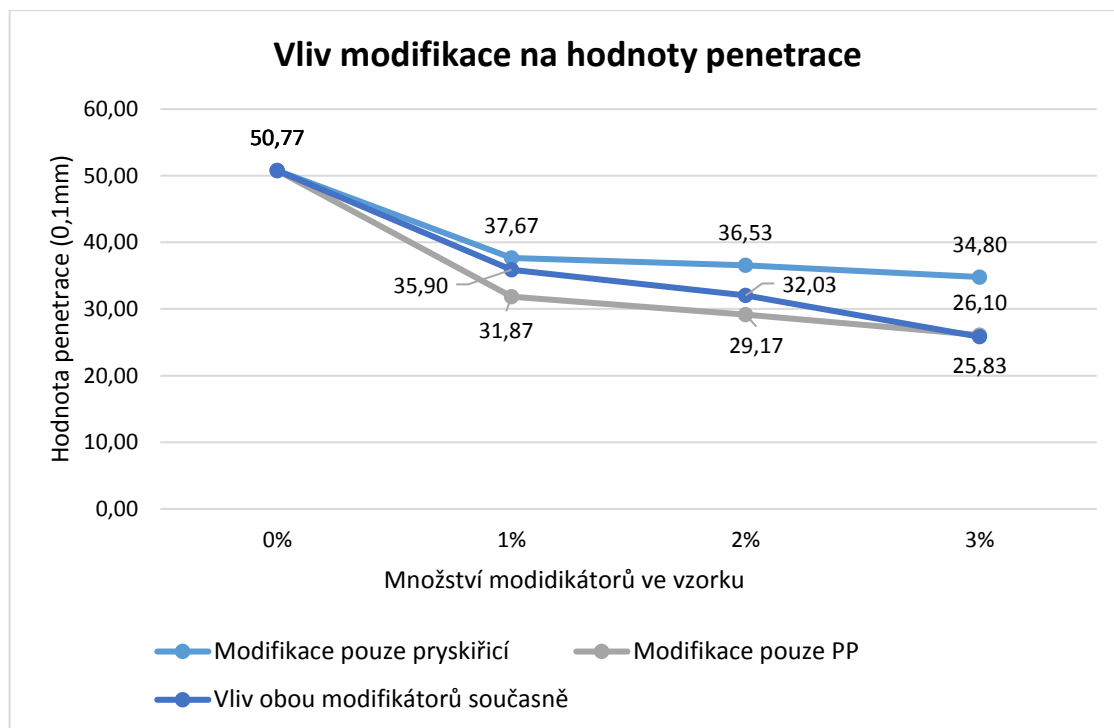
Z výsledků zkoušky bodu měknutí je možné říci, že použití pryskyřice nemá na bod měknutí pojiva zásadní vliv. Největší změna hodnoty byla zaznamenána při přidání

1 % tohoto modifikátoru a to o 3,4 °C. Další zvyšování množství pryskyřice ve vzorku se dá z naměřených výsledků označit z hlediska bodu měknutí jako neefektivní. Modifikace přidáním polypropylenu se naopak projevila jako velice účinná. U vzorků s tímto přidaným modifikátorem byl pozorován téměř lineární nárůst teploty bodu měknutí do množství 2 % modifikace. Při zvýšení množství na 3 % byl pokles teploty oproti předchozím změnám velmi malý. Pro samostatné použití modifikátoru PP MOSTEN se jako nejvíce příznivá varianta pro snížení bodu měknutí jeví 2 % množství tohoto polymeru. Po přidání obou modifikátorů lze jako příznivé množství modifikace označit vzorek C1 (1+1 %) a C3 (3+3 %). Změny měřených hodnot pro jednotlivé typy modifikace jsou vykresleny v následujícím grafu.



Graf č. 1 – Vliv variant modifikace na bod měknutí

Z výsledků zkoušky stanovení penetrace jehlou je patrné, že největší vliv na výsledné hodnoty penetrace má použití polymeru. Vůbec nejnižší hodnoty penetrace bylo dosaženo po přidání 3 % obou modifikátorů, tedy vzorku s označením C3. Jako nejefektivnější se však projevilo jednaprocentní použití polymeru ve vzorku A1, případně obou modifikátorů ve vzorku C1. Naměřené hodnoty jsou pro účely přehledného vyhodnocení zakresleny v následujícím grafu.



Graf č. 2 – Vliv variant modifikace na hodnoty penetrace

Po souhrnném vyhodnocení výsledků obou zkoušek se jako nejefektivnější varianta modifikace jeví přidání 1 % množství od obou modifikátorů ve vzorku C1, avšak pro účel vyhodnocení vlivů modifikace na asfaltovou směs by se změny projevené ve výsledcích dalších zkoušek mohly zdát zanedbatelné. Proto se autor rozhodl po konzultaci s vedoucím práce zvolit variantu vzorku s označením C3 (3 + 3 %). Zvolil tak s cílem zjistit maximální možný dopad použití tohoto modifikovaného asfaltu v asfaltových směsích v rámci této práce.

3.6. Zkoušky asfaltových směsí

V této části práce se bude autor věnovat laboratorní výrobě asfaltových směsí, výrobě zkušebních těles a následným zkouškám v laboratoři. Na základě vyhodnocení zkoušek asfaltových pojiv uvedeného v předchozí kapitole byly vyrobeny a testovány vzorky z celkem dvou asfaltových směsí s použitím nemodifikovaného a modifikovaného pojiva. V následující tabulce je uveden přehled vyráběných asfaltových směsí a jejich označení v rámci práce.

Označení směsi	Typ směsi	Použité pojivo ve směsi
R – referenční směs	ACL 16	Vzorek R (50/70)
C – s modifikovaným pojivem	ACL 16	Vzorek C3 (3+3% modifikace)

Tabulka 6 – Přehled vyráběných asfaltových směsí

V závěru této části bude uvedeno vyhodnocení jednotlivých zkoušek a vzájemné porovnání směsí s použitím nemodifikovaného a modifikovaného asfaltového pojiva. Vstupní materiály použité pro výrobu asfaltových směsí autor specifikoval v teoretické části této práce.

3.7. Výroba asfaltových směsí

Pro směsi vyráběné za horka je velmi důležité ohřátí vstupních materiálů na předem stanovenou teplotu. Dle ČSN EN 1297-35+A1 byly jednotlivé frakce kameniva, filer a asfaltové pojivo umístěny do sušárny a temperovány na teplotu 160°C. Pro asfaltovou směs C bylo asfaltové pojivo připraveno dle potupu uvedeného v kapitole „3.2 Výroba vzorků“. Asfaltové pojivo bylo do sušárny vloženo později, aby zbytečně nedocházelo k jeho degradaci. Aby byla udržena teplota směsi při míchání, bylo nutné nahřát také laboratorní míchačku.



Obrázek č. 9 – Laboratorní míchačka (vlevo) [zdroj vlastní], Sušárna k nahřátí vstupních materiálů (vpravo) [zdroj vlastní]

V momentě, kdy byly vstupní materiály nahřáty, bylo do nahřáté míchačky nejprve nasypáno kamenivo, které bylo mícháno po dobu 180 vteřin. Následně bylo přidáno přesné množství asfaltového pojiva a směs byla míchána dalších 180 vteřin. Jako poslední se do míchačky vložil filer, aby se zabránilo jeho nabalení přímo na pojivo. Následně byla směs znovu míchána po dobu 180 vteřin. Vyrobená směs byla připravena pro zhotovení zkušebních těles, jak autor popisuje v následujících kapitolách. [20]

3.8. Příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa obou asfaltových směsí byla vyrobena v laboratoři silničních staveb ČVUT fakulty stavební. Na základě konzultace s vedoucím práce Ing. Petrem Monscheinem byla zvolena výroba následujících zkušebních těles pro každou asfaltovou směs:

- **9 Marshallových těles** o průměru $101,6 \pm 0,1$ mm a výšce $63,5 \pm 2,5$ mm hutněných 2x25 údery pomocí rázového zhutňovače. Tato tělesa byla vyrobena za účelem provedení zkoušky stanovení odolnosti vůči vodě.
- **6 Marshallových těles** hutněných 2x75 údery pomocí rázového zhutňovače. Na těchto tělesech bylo provedeno stanovení objemové hmotnosti a zkouška stanovení modulů tuhosti metodou IT-CY.
- **12 půlválcových těles** s drážkou o průměru $101,6 \pm 0,1$ mm a jmenovité tloušťce 50 mm vyrobených zbroušením a rozpůlením Marshallových těles použitých pro zkoušku stanovení modulů tuhosti. Tato tělesa byla vyrobena pro zkoušku odolnosti vůči šíření trhlin
- **2 plošná zkušební tělesa** o délce 320 mm, šířce 260 mm a výšce 60 mm vyrobené pomocí lamelového zhutňovače. Tyto desky jsou vyrobeny pro provedení zkoušky stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací.
- **8 trámků** o délce 320 mm, šířce 50 mm a výšce 60 mm vyrobených rozřezáním desek použitých při zkoušce odolnosti vůči trvalým deformacím. Tyto trámky byly vyrobeny za účelem provedení zkoušek stanovení pevnosti v tahu za ohybu a zkoušky relaxace asfaltových směsí

V následující tabulce uvádí autor souhrnný přehled vyrobených těles, jejich identifikačních označení v rámci práce a jednotlivých provedených zkoušek.

Typ směsi	Označení těles	Typ zkušební tělesa	Provedené zkoušky
R – Referenční	R1-R6	Marshallova tělesa hutněna 2x75	Objemová hmotnost podle rozměrů
			Objemová hmotnost SSD
			IT-CY
	R7-R15	Marshallova tělesa hutněna 2x25	Odolnost vůči vodě
	R1a-R6a R1b-R6b	Půlválcová tělesa	Odolnost vůči šíření trhlin
	DR1,DR2	Plošná tělesa	Objemová hmotnost SSD
Odolnost proti tvorbě trvalých deformací			
1R1-4R1 1R2-4R2	Trámky	Pevnost v tahu za ohybu	
		Relaxace	
C – s modifikovaným pojivem	C1-C6	Marshallova tělesa hutněna 2x75	Objemová hmotnost podle rozměrů
			Objemová hmotnost SSD
			IT-CY
	C7-C15	Marshallova tělesa hutněna 2x25	Odolnost vůči vodě
	C1a-C6a C1b-C6b	Půlválcová tělesa	Odolnost vůči šíření trhlin
	DC1,DC2	Plošná tělesa	Objemová hmotnost SSD
Odolnost proti tvorbě trvalých deformací			
1C1-4C1 1C2-4C2	Trámky	Pevnost v tahu za ohybu	
		Relaxace	

Tabulka 7 – Souhrnný přehled vyrobených těles a provedených zkoušek

3.8.1. Výroba těles rázovým zhutňovačem

Pro obě varianty asfaltových směsí bylo vyrobeno dle určených zkoušek celkem 15 Marshallových těles. Postup výroby těchto těles byl proveden na základě ČSN EN 12697-30 a je popsán v této kapitole. Cílem výroby těles rázovým zhutňovačem je zhotovení zkušebních těles ve tvaru válce o průměru $101,6 \pm 0,1$ mm a výšce $63,5 \pm 2,5$ mm. Jelikož je množství potřebné pro přípravu zkušební tělesa stanovené výšky závislé na maximální objemové hmotnosti směsi, musí se množství směsi potřebné pro dosažení určené výšky tělesa stanovit zkušebním hutněním. Autor na základě doporučení vedoucího práce zkušební hutnění neprováděl a jako výchozí množství směsi

zvolil hodnoty 1180 ± 10 g pro tělesa hutněná 2x75 údery a 1100 ± 10 g pro tělesa hutněná 2x25 údery. [21]

Pro vytvoření zkušebních těles byl dle výše uvedené normy použit rázový zhutňovač s ocelovým dolním podstavcem, jedná se o zařízení s motorovým pohonem, které se skládá z částí blíže specifikovaných v uvedené normě ČSN EN 12697 – 30. Dále byla použita forma pro hutnění o vnitřním průměru $101,6 \pm 0,1$ mm, sestávající z nástavce, válcové formy a podložky. Dalšími pomůckami byly: sušárna pro udržení teploty směsi, zednické misky, lopatka pro práci se směsí, násypka a separační papíry kruhového tvaru.

Důležitou přípravou před samotnou výrobou těles je nahřátí pracovních pomůcek v sušárně, abychom při manipulaci se směsí minimalizovali její teplotní ztráty před hutněním. Prvním krokem výroby bylo navážit výše uvedené množství směsi do nahřátých zednických misek, tedy 9x1180 g a 6x1100 g a umístit je do sušárny. Navážené množství směsi v misce bylo vyndáno ze sušárny společně s hutnicí formou. Válcová forma se umístila na podložku, na dno formy se vložil separační papírek, pomocí násypky se směs vsypala do formy a povrch se zarovnal lopatkou. Nakonec se na povrch směsi položil druhý separační papírek a nasadil se nástavec hutnicí formy. Takto připravená forma byla bezodkladně postavena do rázového zhutňovače, dle normy by naplnění normy i se zhutněním tělesa nemělo trvat déle jak 4 minuty. Na zhutňovači se nastavil požadovaný počet úderů a spustil se hutnicí cyklus.



Obrázek č. 10 - Rázový zhutňovač s ocelovým podstavcem (vlevo) [zdroj vlastní], Výtlačné zařízení (vpravo) [zdroj vlastní]

Po dokončení byla forma ze zhutňovače vyndána, kruhová forma obrácena a vložena zpět. Následně byla druhá strana tělesa hutněna stejným počtem úderů. Z takto zhutněného tělesa se odstranil separační papírek a těleso bylo položeno na připravenou podložku. Těleso se na podložce nechalo zchladnout na teplotu přibližně 40 °C, poté bylo vyndáno výtlačným zařízením a popsáno příslušným identifikačním označením.

3.8.2. Výroba těles metodou lamel zatlačovaných válcem

Pro obě varianty asfaltových směsí byla vyrobena 2 plošná zkušební tělesa neboli desky o délce 320 mm, šířce 260 mm a výšce 60 mm. Tyto tělesa byla vyrobena za účelem provedení zkoušky pojíždění kolem, která slouží pro stanovení odolnosti asfaltové směsi proti tvorbě trvalých deformací. Postup výroby desek byl proveden dle platné normy ČSN EN 12697—33+A1 a je popsán v této kapitole. Před vyráběním plošného tělesa je třeba stanovit objemovou hmotnost dané směsi na Marshallových tělesech, tento postup stanovení je popsán v normě ČSN EN 12697-6+A1 a autor se mu bude věnovat v jedné z následujících kapitol. Na základě objemové hmotnosti, rozměrech formy a požadované míry zhutnění se vypočítá přesné množství směsi na výrobu jednoho tělesa dle následujícího vzorce: [22]

$$m_1 = b \times t \times l \times \rho_{\emptyset, \text{bssd}} \times MZ \times 10^{-6} \quad [22]$$

- $\rho_{\emptyset, \text{bssd}}$ – průměrná objemová hmotnost stanovená na Marshallových tělesech příslušné varianty směsi ACL
- m_1 – hmotnost navážky na jednu desku v g
- b, t, l – jmenovité rozměry desky v mm
- MZ – požadovaná míra zhutnění

Pro vypočtení hmotnosti navážky dosazujeme do vzorce požadovanou míru zhutnění 99% (0,99).

Pro vytvoření zkušebních těles byla dle výše uvedené normy použita forma o vnitřních rozměrech 320x260x230 ± 1 mm. Dále bylo použito zařízení ke zhutnění asfaltových směsí ve formě, které se skládá ze stolu, jednoho nebo více nastavovacích rámečků, ocelových lamel, ocelového válce, a zařízení vyvíjející svislé zatížení F na válec. Nezbytnými pomůckami jsou, jako pro výrobu Marshallových těles, zednické misky

k navážení přesného množství směsi, sušárna, lopatka a plech oddělovací lamely od směsi.

Před zahájením výroby je nutné si predehřát formu a všechny pomůcky, které přijdou do styku s asfaltovou směsí. Spočítané množství směsi jednotlivě navážíme do zednických misek a vložíme do sušárny. Před započítím hutnění se je třeba pomocí teploměru ujistit, že teplota uvnitř směsi neklesla pod požadovanou referenční teplotu. V případě této práce byla stanovena referenční teplota 155 °C. Pokud je teplota dostačující, tak do připravené formy ošetřené silikonovým olejem vsypeme navážené množství na jednu desku a směs ve formě rovnoměrně rozprostřeme. Na povrch směsi položíme plech, na který vyskládáme predehřáté lamely. Poté můžeme lamely zatížit pojížděním ocelového válce. V momentě, kdy jsou lamely zatlačeny přibližně 2 mm nad horní hranu formy, je třeba zastavit zatěžovací válec a lamely odtížit na dobu 8 minut. Po této době se lamely opět zatíží, a to do doby, kdy jsou lamely úplně zatlačeny do formy. Po tomto kroku opět následuje 8 minutová pauza a nakonec se lamely nechají dohutnit počtem 15-ti pojezdů válcem. Nakonec se těleso společně s podkladní deskou vyjme z formy a nechá se volně vychladnout. Těleso se po vychladnutí oddělí od podkladní desky a opatří identifikačním označením.



Obrázek č. 11 – Lamelový zhutňovač (vlevo) [zdroj vlastní], Vyrobená plošná tělesa (vpravo) [zdroj vlastní]

3.9. Provedené zkoušky asfaltových směsí

Na základě stanoveného cíle práce a typu asfaltových směsí, byly po konzultaci s vedoucím práce Ing. Petrem Mondscheinem, Ph.D. určeny zkušební metody vedoucí k zjištění potřebných vlastností vyrobených asfaltových směsí. Byly zvoleny metody a zkoušky pro stanovení těchto vybraných vlastností:

- Objemová hmotnost SSD
- Objemová hmotnost podle rozměrů
- Maximální objemová hmotnost
- Modul tuhosti
- Odolnost vůči tvorbě trvalých deformací
- Odolnost vůči šíření trhlin
- Odolnost vůči vodě
- Odolnost vůči vodě s aplikací zmrazovacího cyklu
- Pevnost v tahu za ohybu
- Relaxace asfaltových směsí

V následující kapitolách se bude autor věnovat popisu jednotlivých zkoušek. Výsledky a vyhodnocení těchto zkoušek budou uvedeny v samostatné kapitole.

3.9.1. Stanovení objemové hmotnosti

Stanovení objemové hmotnosti zkušebních těles v této práci bylo provedeno dle platné normy ČSN EN 12697-6. Tato norma uvádí následující postupy stanovení objemové hmotnosti:

- **objemová hmotnost – suchá** (metoda pro tělesa s velmi uzavřeným povrchem)
- **objemová hmotnost – SSD** (nasycený suchý povrch) (metoda určená pro tělesa s uzavřeným povrchem)
- **objemová hmotnost – utěsněné zkušební těleso** (metoda určená pro tělesa s otevřeným nebo hrubozrnným povrchem)
- **objemová hmotnost podle rozměrů** (metoda určená pro tělesa s pravidelným povrchem mající geometrický tvar, tj. čtverce, obdélníky, válce apod.).

[23]

Výše uvedené metody se používají na laboratorně zhutněná tělesa, ale i tělesa získaná z vývrtů nebo vyřezáním již položené a zhutněné asfaltové směsi přímo z vozovky. Výběr konkrétního postupu stanovení závisí na odhadovaném množství a přístupnosti mezer ve zkušebním tělese, obecný návod pro výběr vhodného postupu je uveden příloze A zmíněné normy. [23]

Pro účely této práce bylo použito pro Marshallova tělesa hutněná 2x75 údery **stanovení objemové hmotnost podle rozměrů** a pro plošná tělesa a Marshallova tělesa hutněná 2x75 údery **stanovení objemové hmotnosti SSD**. Jejich popisu se autor věnuje v následujících dvou podkapitolách.

V rámci práce byla také stanovena **maximální objemová hmotnost** obou vyrobených směsí. Maximální objemová hmotnost byla stanovena dle postupu popsaného v normě ČSN EN 12697-5.

3.9.1.1. Objemová hmotnost SSD

Principem této metody je určení objemové hmotnosti tělesa na základě jeho suché hmotnosti, hmotnosti ponořeného tělesa a hmotnosti tělesa osušeného.

Stanovení objemové hmotnosti touto metodou bylo provedeno na Marshallových tělesech hutněných 2x75 údery a na plošných tělesech pro stanovení jejich míry zhutnění.

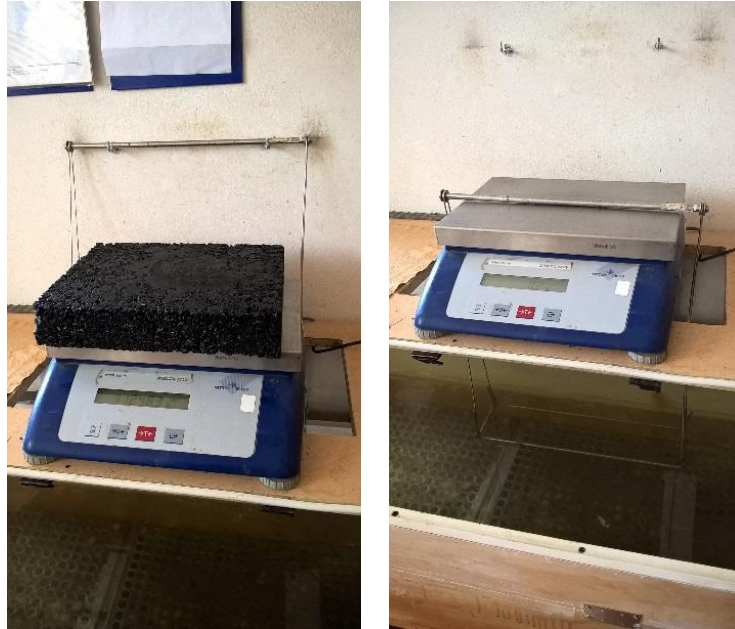
Nezbytnými pomůckami jsou: **váhy** přizpůsobené vážení ponořených těles s přesností $\pm 0,1$ g, **vodní lázeň** s udržující konstantní teploty s přesností $\pm 1,0$ °C, **teploměr** a vlhká **jelenice** na povrchové osušení tělesa.

Samotný postup zkoušky probíhá následovně:

- Stanovení hmotnosti suchého tělesa (m_1)
- Stanovení hustoty vody vodní lázně (ρ_w) z odečtené teploty na teploměru v lázni.
- Ponoření zkušebního tělesa do vodní lázně na dobu min. 30 minut
- Stanovení hmotnosti ponořeného nasyceného zkušebního tělesa (m_2)
- Vyjmutí tělesa z vodní lázně a osušení jeho povrchu vlhkou jelenicí
- Stanovení hmotnosti tělesa nasyceného vodou (m_3) ihned po předchozím kroku

Výsledná objemová hmotnost SSD (ρ_{bssd}) zkušebního tělesa se vypočítá dle vzorce:

$$\rho_{\text{bssd}} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_w \quad [23]$$



Obrázek č. 12 – Stanovení hmotnosti suchého tělesa (vlevo) [zdroj vlastní], Váhy přizpůsobené vážení ponořených těles (vpravo) [zdroj vlastní]

3.9.1.2. Objemová hmotnost podle rozměrů

Principem této metody je určení objemové hmotnosti tělesa na základě jeho rozměrů a suché hmotnosti.

Pomůcky potřebné pro tuto metodu jsou **váhy** s přesností $\pm 0,1$ g a **posuvné měřidlo** s přesností $\pm 0,1$ mm.

Postup zkoušky spočívá ve dvou krocích. Prvním je stanovení rozměrů tělesa, které se provádí několika čítným měřením tělesa a zprůměrováním hodnot, jak uvádí norma EN 12697-29. Z rozměrů tělesa se pak základními matematickými vzorci stanoví objem tělesa (V). Druhým krokem je stanovení suché hmotnosti tělesa (m_1).

Výsledná objemová hmotnost podle rozměrů ($\rho_{b,dim}$) zkušební tělesa se vypočítá dle vzorce:

$$\rho_{b,dim} = \frac{m_1}{V} \times 10^3 \quad [23]$$



Obrázek č. 13 - Stanovení rozměrů desky (vlevo) [zdroj vlastní], Stanovení rozměrů Marshallova tělesa (vpravo) [zdroj vlastní]

3.9.1.3. Maximální objemová hmotnost

Účelem této zkušební metody je stanovení maximální objemové hmotnosti asfaltových směsí neobsahující mezery. Norma ČSN EN 12697-5 uvádí celkem tři postupy stanovení, pro účely této práce byl zvolen postup volumetrický, jehož principem je stanovení maximální objemové hmotnosti asfaltové směsi na základě objemu vzorku bez mezer a jeho suché hmotnosti.

Pomůcky potřebné pro provedení zkoušky jsou

- Destilovaná voda
- Váhy s přesností 0,1 g
- Teploměr s přesností 0,1 °C
- Pyknometr vhodné velikosti, aby vzorek zaujímal nejvýše 2/3 jeho objemu
- Vývěva s manometrem
- Vhodný nástroj k manipulaci s asfaltovou směsí

Jako první je stanovena hmotnost pyknometru včetně nástavce (m_1) o známém objemu (V_p). Zkušební vzorek se umístí do pyknometru a stanoví se hmotnost pyknometru včetně nástavce a suchého vzorku (m_2). Pyknometr se naplní destilovanou vodou do výšky 30 mm pod okraj a pomocí vývěvy s manometrem se z něj odstraní zachycený vzduch. Následně se pomocí teploměru stanoví teplota destilované vody v pyknometru, podle které se určí hustota destilované vody při zkušební teplotě (ρ_w) s přesností na 1 kg/m³ [kg/m³]. Poté se na pyknometr nasadí nástavec a dolije se destilovaná voda po referenční značku na nástavci pyknometru. Nakonec se stanoví hmotnost pyknometru včetně nástavce, vzorku a destilované vody (m_3). Maximální objemovou hmotnost asfaltové směsi (ρ_{mv}) stanovenou volumetrickým postupem s přesností na 1 kg/m³ [kg/m³] spočítáme podle normou uváděného vzorce:

$$\rho_{mv} = \frac{m_3 - m_1}{10^6 \times V_p - (m_3 - m_2) / \rho_w} \quad [24]$$



Obrázek č. 14 – Stanovení hmotnosti pyknometru s vysušeným vzorkem (vlevo) [zdroj vlastní], Vývěva s manometrem k odvzdušnění pyknometru (vpravo) [zdroj vlastní]

3.9.2. Stanovení modulu tuhosti IT-CY

V této práci bylo užito nedestruktivních metod stanovení modulu tuhosti vyrobených asfaltových směsí. Zkoušky modulu tuhosti byly provedeny dle normy ČSN EN 12697-26. V této normě jsou popsány metody, jejichž cílem je určovat tuhost asfaltových směsí prostřednictvím alternativních zkoušek, včetně zkoušek ohybem

a zkoušek v prostém příčném tahu. Jedná se o zkoušky prováděné na zhutněném asfaltovém materiálu během harmonického zatěžování nebo jiném řízeném zatěžování s pomocí rozdílných typů zkušebních těles a podpor. Jak již bylo zmíněno, norma uvádí několik metod stanovení modulu tuhosti, z nichž pro účely této práce byla použita metoda **IT-CY – zkouška v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech** na obě vyrobené asfaltové směsi. V této kapitole se bude autor dále věnovat bližšímu popisu této použité metody.

Stanovení modulu tuhosti bylo provedeno na Marshallových tělesech hutněných 2x75 údery z obou vyrobených směsí. Principem této nedestruktivní metody je zatěžování zkušebního tělesa přímým tlakovým napětím ve svislém směru. Toto napětí je přenášeno v rovině svislého průmětu zkušebního tělesa a způsobuje namáhání kolmo ke směru zatížení. Důsledkem tohoto zatěžování vzorku je vznik vodorovné deformace tělesa, která je v průběhu zkoušky měřena. Na základě rozměrů zkušebních těles, hodnoty Poissonova čísla, naměřených hodnot zatěžovací síly a velikosti deformace je stanoven výsledný modul tuhosti asfaltové směsi. Modul tuhosti vyrobených směsí byl touto zkouškou stanoven při teplotách 0 °C, 15 °C, 27 °C a 40 °C.

3.9.2.1. Pomůcky a zařízení

Pro provedení zkoušky IT-CY bylo použito zkušebního zařízení a pomůcek silniční laboratoře fakulty stavební ČVUT. Na níže uvedené pomůcky jsou podrobně specifikovány požadavky v příloze C normy ČSN EN 12697-26. Konkrétně se jednalo o:

- Ocelový **zatěžovací rám**
- **Dvě zatěžovací čelisti** z nerez oceli
- Normou specifikované **zatěžovací zařízení**
- **System pro měření horizontálních deformací**
- **Záznamové zařízení** s digitální jednotkou sledující a zaznamenávající elektrické signály ze snímačů zatížení a deformací
- **Termostatická komora** pro udržení teploty vzorku při zkoušce

Dále bylo použit **osobní počítač** ke zpracování měření a **sušárna** nebo **chladicí box** k temperování tělesa před zkouškou.

3.9.2.2. Průběh zkoušky

Před započítáním zkoušky je nutné mít změřené charakteristické rozměry zkušebních těles a jejich vytemperování na požadovanou teplotu. Rozměry Marshallových těles byly již známy z provedeního stanovení objemové hmotnosti dle rozměrů. Pro dokončení přípravy tak bylo nutné umístit tělesa do sušárny či chladicího boxu na dobu minimálně 4 hodin před zkouškou.

Vytemperované zkušební těleso se umístí do polohy zkoušení a osadí se pevným rámečkem pomocí nastavovací podpěry. Sondy měřící deformaci se nastaví do měřící polohy, přičemž je třeba dbát ohledu na to, aby rámeček se sondami snímající deformaci byl uchycen stejnoměrně. Následně se těleso zatíží deseti kontrolními pulzy, při kterých se zařízení automaticky nastaví na velikost zatížení a dobu pulzů.

Po kontrolních pulzech se v případě potřeby upraví umístění měřících sond. Po ověření polohy sond následuje spuštění pěti zatěžovacích pulzů, při kterých je zaznamenáván průběh vyvozeného zatížení v čase a horizontální deformace zkušebního tělesa. Při provedení zkušebních pulzů se určí součinitel zatěžovací plochy, což je poměr plochy pod křivkou, která je vymezena začátkem působení zatěžovacího pulzu a špičkovou hodnotou zatížení, k součinu doby náběhu a maximálního zatížení.

V normě popisující tuto zkoušku je uvedeno:

„Nastavení zatížení musí být takové, aby součinitel plochy zatížení byl v rozmezí 0,50 až 0,70. Pokud toho není dosaženo, zkušební těleso se musí vyloučit a výsledky zamítnout. Doporučenou hodnotou pro součinitel plochy zatížení je 0,60.

POZNÁMKA 1 Pokud je horizontální deformace průměru menší než 3 μm nebo větší než 20 μm , pak není vhodná buď zkušební teplota nebo zkušební metoda.

POZNÁMKA 2 Pokud je svislé zatížení nižší než 0,5 kN, není vhodná buď zkušební teplota, nebo zkušební metoda.“ [24]

Doporučená hodnota horizontální deformace pro zkušební tělesa o jmenovitém průměru 100 mm je na základě získaných zkušeností $5 \pm 2 \mu\text{m}$ a při teplotě 0 °C deformaci $3 \pm 1 \mu\text{m}$, jak bylo také užito pro účely této práce.

Z měřených hodnot jednotlivých zatěžovacích pulzů je vypočten modul tuhosti pro každý zatěžovací pulz následovně:

$$S_m = \frac{F \times (v + 0,27)}{(z \times h)}$$

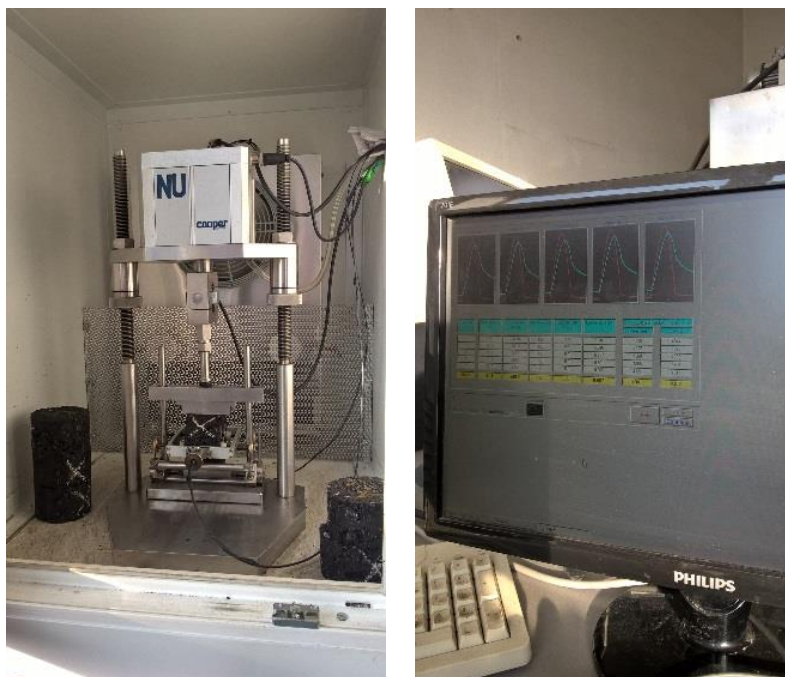
<i>kde je</i>	S_m	<i>Modul tuhosti [MPa]</i>	
	F	<i>Maximální hodnota svislého zatížení [N]</i>	
	z	<i>Amplituda horizontální deformace v průběhu zatěžovacího cyklu [mm]</i>	
	h	<i>Průměrná tloušťka zkušebního tělesa [mm]</i>	
	v	<i>Poissonovo číslo závislé na zkušební teplotě</i>	[24]

Měřením stanovený modul tuhosti musí být upraven dle součinitele plochy zatížení 0,6 následovně:

$$S'_m = S_m \times (1 - 0,322 \times (\log(S_m) - 1,82) \times (0,60 - k))$$

<i>kde</i>	S'_m	<i>Modul tuhosti upravený na součinitel ploch zatížení 0,60 [MPa]</i>	
	k	<i>Naměřený součinitel plochy zatížení [-]</i>	
	S_m	<i>Modul tuhosti při součiniteli zatížení k, s uvedením teploty [°C]</i>	[24]

Modul tuhosti pro příslušnou polohu tělesa vypočteme jako aritmetický průměr modulů tuhosti stanovených v pěti zatěžovacích cyklech. Výše uvedené kroky výpočtů byly na zařízení používaném silniční laboratoři ČVUT zcela automatizované. Měřicí zařízení ovládané přes program v osobní počítači automaticky vypočítá výslednou hodnotu modulu tuhosti a exportuje ji do výstupního textového souboru.



Obrázek č. 15 – Zatěžovací zařízení v termostatické komoře (vlevo) [zdroj vlastní], Počítač s programem zaznamenávajícím údaje o zkoušce (vpravo) [zdroj vlastní],

Po dokončení měření se zkušební těleso vyjme a otočí o $90^\circ \pm 10^\circ$ kolem své horizontální osy. Následně se znovu usadí do polohy ke zkoušení a výše popsany cyklus měření se opakuje.

3.9.2.3. Vyhodnocení zkoušky

Výsledný modul tuhosti zkušebního tělesa se vypočítá jako průměr provedeného měření v první poloze a následně po otočení. Pokud však průměrná hodnota druhého měření není v rozmezí +10 % a -20 % průměrného hodnoty prvního měření, pak je výsledek považován za neplatný.

3.9.3. Stanovení odolnosti vůči vodě a odolnosti vůči vodě s aplikací zmrazovacího cyklu

Účelem této zkoušky bylo stanovit účinky nasycení vodou za zvýšené teploty a účinky nasycení vodou za zvýšené teploty s následnou aplikací zmrazovacího cyklu na pevnost v příčném tahu válcových zkušebních těles. Principem této zkoušky je stanovení procentuálního poměru pevnosti v příčném tahu těles udržovaných na vzduchu, těles vystavených temperování ve vodní lázni a těles temperovaných ve vodní lázni s následným zmrazením. Tato zkouška byla provedená dle metody popsané v normě

ČSN 12697-12. Ke stanovení odolnosti bylo použito celkem 9 Marshallových těles hutněných 2x25 údery od každé vyrobené směsi.

3.9.3.1. Pomůcky a zařízení

Zkouška byla provedena pomocí zařízení a pomůcek v silniční laboratoři fakulty stavební ČVUT. Blíže specifikované požadavky na pomůcky této metody udává výše zmíněná norma ČSN 12697-12 a také norma ČSN 12697-23 (stanovení pevnosti v příčném tahu). K provedení zkoušky jsou nutné tyto pomůcky a zařízení:

- **Zkušební lis, tlačná čelist se zatěžovacími pásy, termostaticky regulovaná vodní lázeň nebo sušárna** pro temperování zkušební tělesa na zkušební teplotu a další vybavení potřebné ke zkoušce stanovení pevnosti v příčném tahu uvedené v ČSN 12697-23
- **Vakuový systém**
- **Vodní lázeň s termostatickou regulací**
- **Mrazicí box**
- **Vodotěsné plastické sáčky**
- **Odměrka** k odměření přibližně 10 ml vody [25]

3.9.3.2. Postup zkoušky

Na připravených Marshallových tělesech musí být již stanovena objemová hmotnost a jejich charakteristické rozměry. Zkušební tělesa byla rozdělena do tří skupin po 3 tělesech, přičemž všechna tato tělesa byla stejného stáří a před zahájením temperování jim bylo umožněno zrání po dobu minimálně 16 h, jak uvádí norma. Pro přehlednost jsou v následující tabulce popsány cykly aplikované na jednotlivých skupinách zkušebních těles před závěrečnou zkouškou pevnosti v příčném tahu.

Skupina těles	Aplikované cykly
A (3 Marshallova tělesa)	Ponechána na vzduchu při pokojové teplotě → temperována na 15 °C na vzduchu
B (3 Marshallova tělesa)	Vakuový systém → vodní lázeň (40 °C) na 72 h → temperována na 15 °C ve vodní lázni
C (3 Marshallova tělesa)	Vakuový systém → vodní lázeň (40 °C) na 72 h → mrazicí box (-16 °C) na 16 h → temperována na 15 °C ve vodní lázni

Tabulka 8 – Přehled cyklů provedených na tělesech před stanovením pevnosti v příčném tahu

Skupiny těles B a C byly nejprve uloženy na perforovanou vložku ve vakuové komoře, která byla naplněna destilovanou vodou o teplotě 20 ± 5 °C. Ve vakuové komoře se během přibližně 10 minut vytvoří absolutní tlak $6,7 \pm 0,3$ kPa. Požadovaný tlak se ve vakuové komoře udržuje po dobu 30 ± 5 minut a poté se pomalu zredukuje zpět na tlak atmosférický. Zkušební tělesa z vakuové komory byla nechána dalších 30 minut ve vodě a poté se vložila do vodní lázně o teplotě 40 ± 1 °C. Ve vodní lázni byla ponechána po dobu 72 hodin. Po vyjmutí z vodní lázně se tyto tělesa nechali na vzduchu vychladnout na laboratorní teplotu přibližně 20 °C.

Tělesa skupiny C byly poté vloženy do plastických sáčků a ke každému tělesu bylo přidáno 10 ± 1 ml vody. Sáčky s tělesy se pak vložili do mrazicího boxu s teplotou - 16°C a tam byla tělesa ponechána po dobu 16 hodin.



Obrázek č. 16 – Tělesa ve vakuové nádobě (vlevo) [zdroj vlastní], Tělesa při zahájení zmrazovacího cyklu (vpravo) [zdroj vlastní]

Nakonec se všechny skupiny těles nechali temperovat na teplotu 15 °C, tělesa skupin B a C ve vodní lázni a tělesa skupiny A na vzduchu. Tělesa byla temperována tak, aby byly všechny skupiny těles přibližně ve stejnou dobu připravené ke zkoušce v příčném tahu.

Jak již autor uvedl, tak posledním krokem bylo provedení zkoušky v příčném tahu na všech zkušebních těles dle postupu popsáném v následující kapitole. U skupin těles temperovaných ve vodní lázni tak muselo být učiněno nejpozději do 1 minuty po vyjmutí z lázně.

3.9.3.3. Vyhodnocení zkoušky

Výsledek zkoušky se vyhodnotí jako poměr pevností v příčném tahu $ITSR$ pro odolnost vůči vodě a poměr pevností v příčném tahu $ITSR_f$ pro odolnost vůči vodě se zmrazovacím cyklem. Stanovení výsledných hodnot bylo provedeno dle následujících vzorců převzatých z normy ČSN EN 12697-12:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_B}{ITS_A}$$

kde je $ITSR$ poměr pevnosti v příčném tahu [%]

ITS_B Průměrná pevnost v příčném tahu skupiny těles B[kPa]

ITS_A Průměrná pevnost v příčném tahu skupiny těles A[kPa]

$$ITSR_f = 100 \times \frac{ITS_C}{ITS_A}$$

kde je $ITSR_f$ poměr pevnosti v příčném tahu s aplikací zmrazovacího cyklu [%]

ITS_C Průměrná pevnost v příčném tahu skupiny těles C[kPa]

ITS_A Průměrná pevnost v příčném tahu skupiny těles A[kPa] [25]

3.9.4. Pevnost v příčném tahu

Účelem zkoušky pevnosti v příčném tahu, označované také jako brazilská zkouška, je stanovení maximálního tahového napětí působícího na válcové zkušební těleso při jeho porušení příčným tahem. Principem této zkoušky je zatěžování válcového tělesa konstantní rychlostí zatěžovacím lisem při předem určené zkušební teplotě. Zkouška pevnosti v příčném tahu byla provedena dle normy ČSN EN 12697-23. Tato zkouška byla provedena na celkem 9 Marshallových tělesech od každé vyrobené směsi. Jedná se o tělesa hutněná 2x25 údery. Tato zkouška je součástí stanovení odolnosti vůči vodě a také stanovení odolnosti vůči vodě s aplikací zmrazovacího cyklu. [26]

3.9.4.1. Pomůcky a zařízení

Zkouška byla provedena pomocí zařízení a pomůcek v silniční laboratoři fakulty stavební ČVUT. Blíže specifikované požadavky na pomůcky této metody udává výše zmíněná norma ČSN 12697-23. K provedení zkoušky jsou nutné tyto pomůcky a zařízení:

- **Zatěžovací lis**
- **Tlačné čelisti a zatěžovací pásy**
- **Měřící zařízení**

[26]

Dále pomůcky zkoušky stanovení odolnosti vůči vodě, na kterou tato zkouška přímo navazuje.

3.9.4.2. Postup zkoušky

Před započítím zkoušky je nutné mít zkušební tělesa vytemperovaná na zkušební teplotu, která byla pro účely této práce zvolena na 15 °C. Připravené těleso se vloží do tlačných čelistí tak, aby mohl být zatěžován jeho průměr. Poté se zahájí stlačování zkušebního tělesa rychlostí 50 ± 2 mm/min. až do dosažení maximálního zatížení. Po dosažení maximálního zatížení se zaznamená jeho hodnota společně s hodnotou maximální dosažené deformace.



Obrázek č. 17 – Zatěžovací lis s umístěným Marshallovým tělesem (vlevo) [zdroj vlastní], Měřící zařízení (vpravo) [zdroj vlastní]

3.9.4.3. Vyhodnocení zkoušky

Pevnost v příčném tahu ITS se spočítá podle následujícího vzorce pro každé těleso zvlášť:

$$ITS = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times H}$$

kde je *ITS* pevnost v příčném tahu [MPa], zaokrouhlená na tři platné číslice

P maximální zatížení [N], zaokrouhlené na celá čísla

D průměr zkušebního tělesa [mm] na jedno desetinné místo

H výška zkušební tělesa [mm], na jedno
desetinné místo [26]

Výsledná pevnost v příčném tahu je vyjádřena průměrem výsledků získaných na nejméně třech jednotlivých zkušebních tělesech.

3.9.5. Stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací

Účelem této zkoušky je stanovení náchylnosti asfaltových směsí ke vzniku trvalých deformací důsledkem zatížení. Tato náchylnost se stanovuje na základě měřené hloubky vyjeté koleje způsobené opakovaným pojížděním zatěžovacím kolem za konstantní teploty. Zkouška se provádí na plošných zkušebních tělesech a v rámci této práce byla provedena dle normy ČSN EN 12697-22+A1. K provedení zkoušky byla použita 2 plošná zkušební tělesa od každé vyrobené směsi.

Norma uvádí postupy dle typu použitého zařízení, pro účely této práce bylo použito zařízení v silniční laboratoři fakulty stavební ČVUT, jež se dle normy řadí do typu malých zkušebních zařízení.

3.9.5.1. Pomůcky a zařízení

K provedení zkoušky bylo použito malé zkušební zařízení. Toto zařízení se dá obecně popsat jako zařízení sloužící k opakovanému pohybu zatíženého kola v ustálené horizontální poloze vpřed a vzad a tím opakovaně zatěžující pevně uchycené zkušební těleso. Zařízení je vybaveno automatickou regulací teploty během zkoušky, a také měřícím zařízením zaznamenávající údaje o průběhu zkoušky. Podrobný popis zařízení a jeho částí je v normě ČSN EN 12 697-22+A1.



Obrázek č. 18 – Malé zařízení pro zkoušku pojíždění kolem (vlevo) [zdroj vlastní], Detail zařízení během zkoušky pojíždění kolem (vpravo) [zdroj vlastní]

3.9.5.2. Postup zkoušky

Před započítáním zkoušky je třeba změřit charakteristické rozměry plošných těles. Po změření se tělesa vloží do zkušebního zařízení a pevně upevní. V jednom ze dvou těles se vyvrtá otvor, do kterého se vsune čidlo pro měření teploty uvnitř tělesa. Na povrch desek se upevní plastová fólie, aby nedocházelo k nalepování směsi na kolo. Po vložení desek se zařízení nastaví na temperování zkušebních těles, které trvá zhruba 4 hodiny. Po nahřátí zkušebních těles na zvolenou teplotu 50 °C se na kola v zařízení umístí závaží a zařízení se spustí. Zkouška se ukončí v momentě, kdy se uskuteční 10 000 zatěžovacích cyklů, nebo je dosaženo deformace 20 mm. Po dokončení zkoušky se tělesa vyjmou ze zařízení a ve stolním počítači připojenému k zařízení je k dispozici výstupní soubor s naměřenými hodnotami.

3.9.5.3. Vyhodnocení zkoušky

Výslednými hodnotami zkoušky jsou dle normy:

- **Průměrný přírůstek vyjeté koleje (WTS_{AIR})** vyjádřený v mm na 1 000 zatěžovacích cyklů vypočítaný jako:

$$WTS_{AIR} = \frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$$

kde $D_{10\,000}$ Hloubka vyjeté koleje po 10 000 cyklech [mm]

$D_{5\,000}$ Hloubka vyjeté koleje po 5 000 cyklech [mm] [28]

- **Průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje** na vzduchu (PRD_{AIR}) vyjádřená v %, vypočítaná jako:

$$PRD_{AIR} = \frac{d_{10\,000}}{h} \times 100$$

kde $d_{10\,000}$ hloubka vyjeté koleje po 10 000 cyklech [mm]

h výška zkušební tělesa [mm] [28]

3.9.6. Stanovení odolnosti vůči šíření trhlin

Účelem provedení této zkoušky je stanovení pevnosti v tahu nebo odolnosti proti lomu pro posouzení případného šíření trhlin v asfaltové směsi. Principem zkoušky je tříbodové zatěžování ohybem půlválcového zkušební tělesa při konstantní rychlosti. Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN 12697-44 na celkem 12-ti půlválcových tělesech od každé vyrobené směsi při teplotách 0 °C a -10 °C. K účelu testování těchto dvou teplot byla tělesa rozdělena na dvě skupiny po 6-ti tělesech. Půlválcová zkušební tělesa byla vyrobena pomocí řezačky rozpůlením a seříznutím Marshallových těles hutněných 2x75 údery.

3.9.6.1. Pomůcky a zařízení

Zkouška byla provedena pomocí zařízení a pomůcek v silniční laboratoři fakulty stavební ČVUT. Blíže specifikované požadavky na pomůcky této metody udává výše zmíněná norma ČSN 12697-44. K provedení zkoušky jsou nutné tyto pomůcky a zařízení:

- Zkušební zařízení
- Zkušební ocelový rám
- Měřicí zařízení
- Chladicí box
- Posuvné měřítko

3.9.6.2. Postup zkoušky

U každého tělesa se stanoví jeho charakteristické rozměry dle postupu v normě a tělesa s nechají vytemperovat na zkušební teplotu. Vytemperované těleso umístíme do zkušebního zařízení a ujistíme se, že je umístěné na středu zařízení. Poté se spodní část zařízení zvedne tak, aby se těleso dotýkalo zatěžovacího pásu a spustí se zatěžování rychlostí $5 \pm 0,2$ mm/min. Po dosažení maximální zatěžovací síly se její hodnota odečte

společně s hodnotou dosažené deformace. Polohu trhliny v tělese je třeba ověřit pomocí destičky s výsečí a podle toho rozhodnout, zda je provedená zkouška platná či neplatná.



Obrázek č. 19 – Těleso ve zkušební zařízení (vlevo) [zdroj vlastní], Ověření platnosti zkoušky (vpravo) [zdroj vlastní]

3.9.6.3. Vyhodnocení zkoušky

Pro každé zkušební těleso musí být provedeny následující kroky výpočtu.

- **Poměrné přetvoření** (ϵ_{\max}) při maximální síle, na základě výšky tělesa (W) a svislého posunu (ΔW) při maximální síle:

$$\epsilon_{\max} = \frac{\Delta W}{W} \times 100 \quad [29]$$

- **Maximální napětí při porušení** (σ_{\max}), na základě maximální dosažené síly (F_{\max}), průměru tělesa (D) a tloušťky tělesa (t):

$$\sigma_{\max} = \frac{4,263 \times F_{\max}}{D \times t} \quad [29]$$

- **Odolnost vůči lomu** (K_{Ic}), na základě **maximálního napětí při porušení** (σ_{\max}), geometrického faktoru tělesa ($f(\frac{a}{W})$), výšky tělesa (W) a hloubky drážky tělesa (a):

$$K_{Ic} = \sigma_{\max} \times f\left(\frac{a}{W}\right) \quad [29]$$

Výsledná odolnost vůči lomu asfaltové směsi je spočtena jako průměr odolností platných zkušebních těles dané směsi.

3.9.7. Stanovení pevnosti v tahu za ohybu

Účelem této zkoušky je stanovení deformačních charakteristik asfaltových směsí za nízkých teplot. Principem zkoušky je zatěžování tělesa ve tvaru hranolu silou působící uprostřed vzdálených podpor. Zkouška byla provedena dle technických pokynů TP 151 při teplotách 0 °C a -10 °C pro obě vyrobené asfaltové směsi. Za účelem této zkoušky

byly vyrobeny tělesa ve tvaru trámku rozřezáním plošných těles po zkoušce pojíždění kolem. [12]

3.9.7.1. Pomůcky a zařízení

Zkouška byla provedena pomocí zařízení a pomůcek v silniční laboratoři fakulty stavební ČVUT. Blíže specifikované požadavky na pomůcky této metody udávají výše zmíněné TP 151. K provedení zkoušky jsou nutné tyto pomůcky a zařízení:

- Zkušební zařízení
- Zatěžovací zařízení
- Měřicí zařízení
- Chladicí box
- Posuvné měřítko

3.9.7.2. Postup zkoušky

U zkušební těles se před zkouškou stanoví charakteristické rozměry těles a vzdálenost podpor zatěžovacího zařízení pomocí posuvného měřidla. Před zahájením zkoušky se tělesa nechají temperovat v chladicím boxu na danou zkušební teplotu. Vytemperované zkušební těleso se vloží do zatěžovacího zařízení tak, aby bylo zatěžováno stejným směrem jako při plnění během výroby ve formě. Následně se těleso zatěhuje zkušebním zařízením rychlostí 1,25 mm/min. do dosažení maximální síly. Z měřicího zařízení se odečte maximální dosažená síla a deformace.



Obrázek č. 20 – Trámek při zkoušce tahu za ohybu (vlevo) [zdroj vlastní], měření rozměrů zkušebního tělesa (vpravo) [zdroj vlastní]

3.9.7.3. Vyhodnocení zkoušky

Z hodnot naměřených zkušebními zařízeními se vypočítá:

- **Pevnost v tahu za ohybu** (R_i) na základě maximální dosažené síly (P), vzdálenosti podpor zkušebního tělesa (l), šířce (b) a výšce (h) zkušebního tělesa:

$$R_i = \frac{3}{2} \times \frac{P \times l}{b \times h^2} \quad [12]$$

- **Modul tuhosti v tahu za ohybu** (E_s) na základě průhybu zjištěném uprostřed rozpětí při okamžiku porušení vzorku (Y_s), maximální dosažené síly (P), vzdálenosti podpor zkušebního tělesa (l), šířce (b) a výšce (h) zkušebního tělesa:

$$E_s = \frac{1}{4 \times Y_s} \times \frac{P \times l^3}{b \times h^3} \quad [12]$$

- **Maximální relativní přetvoření** (ε_s) na základě průhybu zjištěném uprostřed rozpětí při okamžiku porušení vzorku (Y_s), vzdálenosti podpor zkušebního tělesa (l) a výšce (h) zkušebního tělesa:

$$\varepsilon_s = \frac{600 \times h}{l^2} \times Y_s \quad [12]$$

3.9.8. Zkouška relaxace asfaltových směsí

Účelem této zkoušky je určení relaxačních charakteristik hutněných asfaltových směsí pomocí zkoušky v tahu za ohybu. Principem této zkoušky je, že těleso ve tvaru hranolu je zatíženo silou uprostřed podpěr. Po zatížení je sledován pokles napětí v trámku v závislosti na čase za neměnné deformace. Zkouška byla provedena dle technických pokynů TP 151 při teplotě 0 °C pro obě vyrobené asfaltové směsi. Za účelem této zkoušky byly vyrobeny tělesa ve tvaru trámku rozřezáním plošných těles po zkoušce pojíždění kolem. [12]

3.9.8.1. Pomůcky a zařízení

Zkouška byla provedena pomocí zařízení a pomůcek v silniční laboratoři fakulty stavební ČVUT. Blíže specifikované požadavky na pomůcky této metody udávají výše zmíněné TP 151. K provedení zkoušky jsou nutné stejné pomůcky jako na zkoušku pevnosti v tahu za ohybu popsanou v předchozí kapitole. Navíc je pro tuto zkoušku třeba temperovaná **vodní lázeň**, pro udržení teploty tělesa během zkoušky.

3.9.8.2. Postup zkoušky

Nejprve je nutné stanovit charakteristické rozměry zkušebních těles a jejich vytemperování na 0 °C v chladicím boxu. Pro tuto zkoušku byly v rámci práce k dispozici celkem 4 tělesa tvaru trámků.

Nejprve byla dvě tělesa použita k určení maximální možné síly dosažené při pevnosti v tahu za ohybu. Tato síla byla měřena při rychlosti zatěžování 50 mm/min.

Ve druhém kroku zkoušky se zbylá zkušební tělesa vkládají do zatěžovacího zařízení umístěného v izolované vodní lázni temperované na 0 °C. Tato teplota je během zkoušky udržována drceným ledem, přidávaným do lázně. Zkušební zařízení se nastaví pro udržování konstantní deformace a těleso vložené do zatěžovacího zařízení se zatíží silou velikosti 2/3 dosažené maximální síly v předchozím kroku. Po dosažení tohoto zatížení se posun lisu zastaví a sleduje se pokles zatěžovací síly v závislosti na čase po dobu 10 minut.



Obrázek č. 21 – Zkušební těleso umístěné do zatěžovacího zařízení (vlevo) [zdroj vlastní], Odečítání hodnot zatížení v průběhu zkoušky (vpravo) [zdroj vlastní]

3.9.8.3. Vyhodnocení zkoušky

Z hodnot naměřených zkušebními zařízeními se vypočítá:

- **Napětí v tahu za ohybu** (σ) v čase t na základě zaznamenané síly (Pr) v čase t , vzdálenosti podpor zkušebního tělesa (l), šířce (b) a výšce (h) zkušebního tělesa:

$$\sigma(t) = \frac{3}{2} \times \frac{Pr(t) \times l}{b \times h^3} \quad [12]$$

- **Relativní relaxační napětí** (σ_r) v čase t na základě zaznamenané síly (Pr) v čase t a síly (Pr) zaznamenané v čase t_0

$$\sigma_r(t) = \frac{Pr(t)}{Pr(t_0)} \quad [12]$$

3.10. Výsledky a vyhodnocení zkoušek asfaltových směsí

Na základě uvedených postupů a výpočtů byly vyhodnoceny výsledky všech provedených zkoušek. V následujících kapitolách budou uvedeny souhrnné výsledky a vyhodnocení jednotlivých zkoušených vlastností asfaltových směsí.

3.10.1. Objemová hmotnost

Dle popsaných metod byly v této práci stanoveny pro obě vyrobené asfaltové směsi hodnoty objemové hmotnosti SSD, objemové hmotnosti dle rozměrů a maximální objemové hmotnosti. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce.

Stanovená vlastnost	Směs R	Směs C
Objemová hmotnost SSD (kg/m ³) pro Marshallova tělesa 2x75	2427	2405
Objemová hmotnost dle rozměrů (kg/m ³) pro Marshallova tělesa 2x75	2349	2325
Maximální objemová hmotnost (kg/m ³)	2508	2530
Mezerovitost (%) pro Marshallova tělesa 2x75	3,2	5,0
Objemová hmotnost SSD (kg/m ³) pro plošná tělesa	2429	2419
Mezerovitost (%) pro plošná tělesa	3,1	4,4

Tabulka 9 – Souhrnné výsledky zkoušek objemové hmotnosti

Výsledky objemových hmotností byly stanoveny na Marshallových tělesech hutněných 2x75 údery a na plošných tělesech byly stanoveny objemové hmotnosti SSD pro určení míry zhutnění těchto těles. Ze získaných výsledků lze říci, že maximální objemová hmotnost se nemění a rozdíl hodnot je dán pouze opakovatelností zkoušky. U modifikované směsi se projevilo mírné snížení zhutněné objemové hmotnosti, což je způsobeno ovlivněním viskozity pojiva a tedy jeho zpracovatelností. Podrobné výsledky zkoušky jsou v příloze č. 4 této práce.

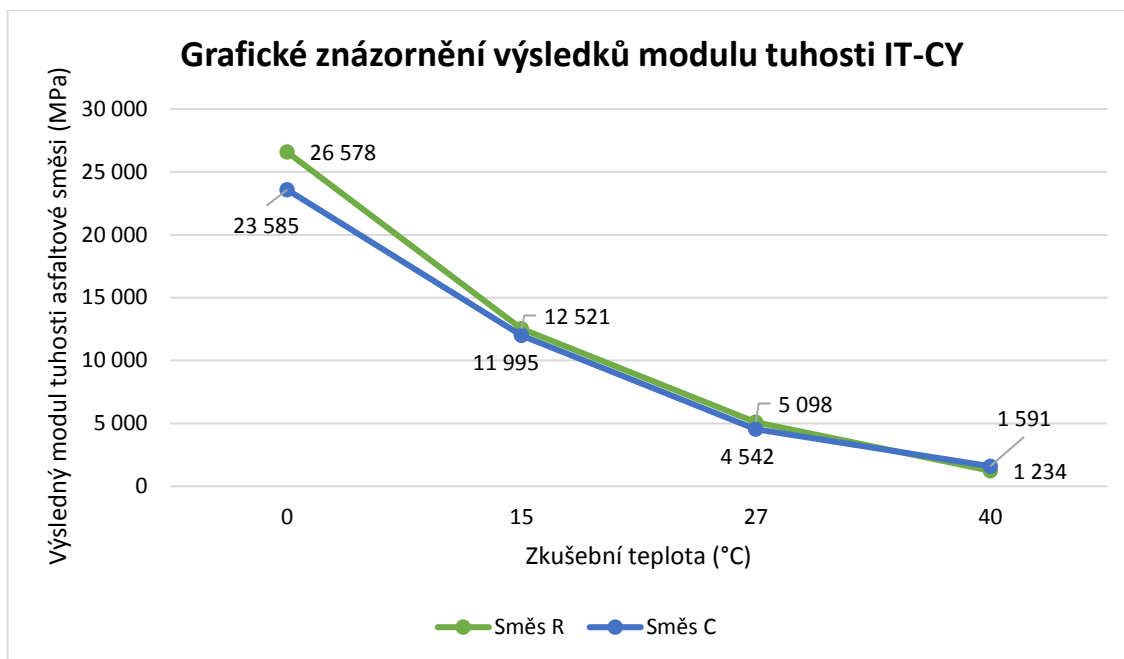
3.10.2. Modul tuhosti IT-CY

V rámci této práce byla provedena zkouška stanovení modulu tuhosti na Marshallových těles hutněných 2x75 údery při teplotách 0 °C, 15 °C, 27 °C a 40 °C. Souhrnné výsledky této zkoušky uvádí následující tabulka.

Stanovená vlastnost	Zkušební teplota (°C)	Směs R	Směs C
Výsledný modul tuhosti asfaltové směsi (MPa)	0	26 578	23 585
	15	12 521	11 995
	27	5 098	4 542
	40	1 234	1 591

Tabulka 10 - Souhrnné výsledky zkoušky stanovení modulu tuhosti IT-CY

Z výsledků jasně vyplývá, že při nižších teplotách mají modifikátory negativní vliv na modul tuhosti směsi. Ve vyšších teplotách se však ukazuje prudký nárůst modulu tuhosti modifikované směsi oproti směsi referenční, což se dá přisuzovat přítomnosti polymeru ve směsi. Porovnání modulů tuhosti obou směsí je graficky znázorněno v následujícím grafu.



Graf č. 3 – Grafické znázornění výsledků zkoušky modulu tuhosti IT-CY

Podrobné výsledky zkoušky stanovení modulu tuhosti IT-CY jsou uvedeny v příloze č. 5 této práce.

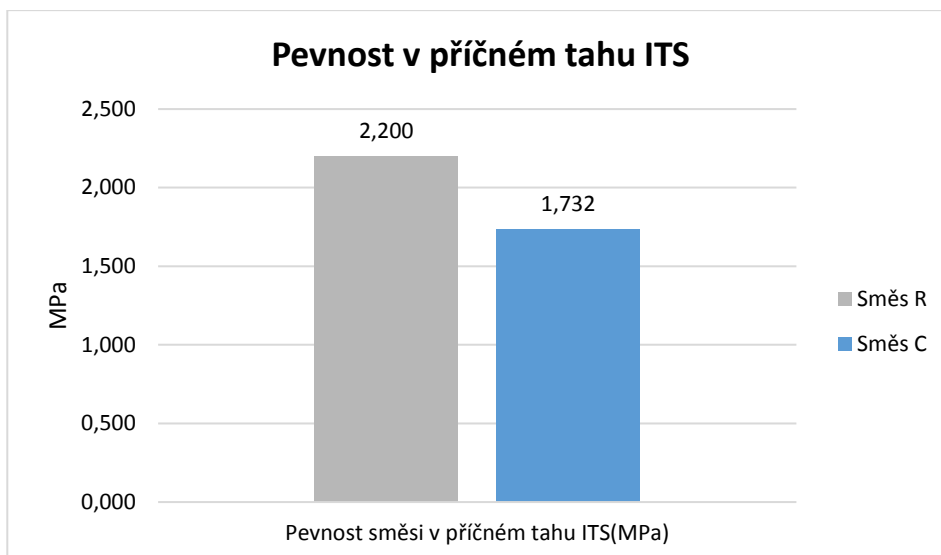
3.10.3. ITS, ITSR, ITSR_f

Dle v této práci popsaného postupu bylo provedeno stanovení pevnosti směsí v příčném tahu ITS, poměrné pevnosti směsí v příčném tahu ITSR (odolnost vůči vodě) a poměrné pevnosti směsí v příčném tahu ITSR_f (odolnost vůči vodě s aplikací zmrazovacího cyklu). Souhrnné výsledky těchto zkoušek uvádí následující tabulka.

Výsledné hodnoty směsi	Směs R	Směs C
Pevnost směsi v příčném tahu ITS (MPa)	2,200	1,732
Poměr pevnosti směsi v příčném tahu ITSR (%)	84,6 %	64,7 %
Poměr pevnosti směsi v příčném tahu ITSR _f (%)	101,0 %	74,9 %

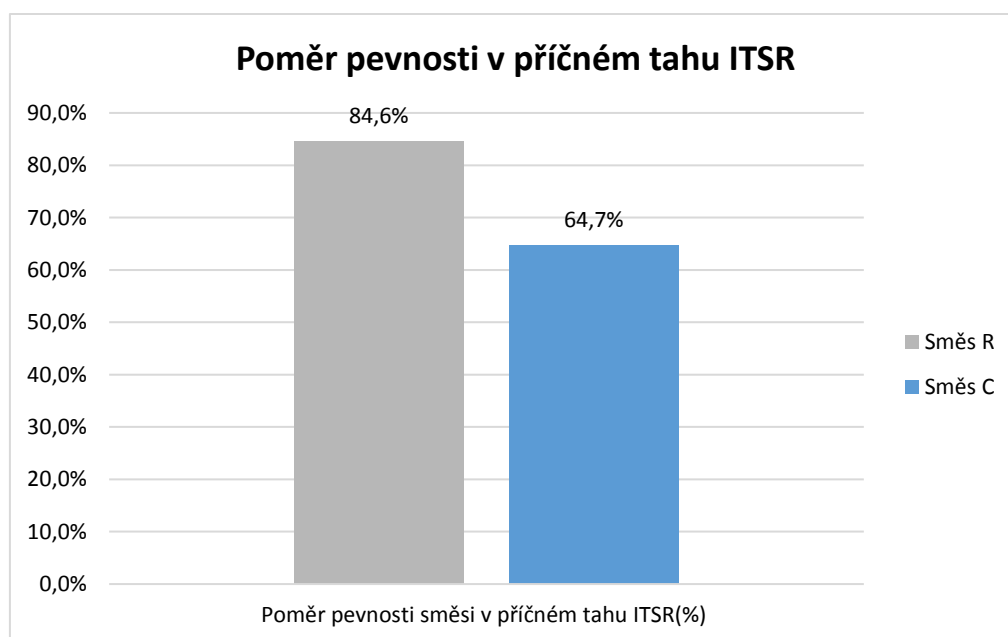
Tabulka 11 – Souhrnné výsledky zkoušky stanovení ITS, ITSR a ITSR_f

Z tabulky je patrné, že u směsi C byly naměřeny výrazně nižší hodnoty pevnosti v příčném tahu. U těles nechaných na vzduchu byl naměřen pokles pevnosti ITS o 0,46 MPa.

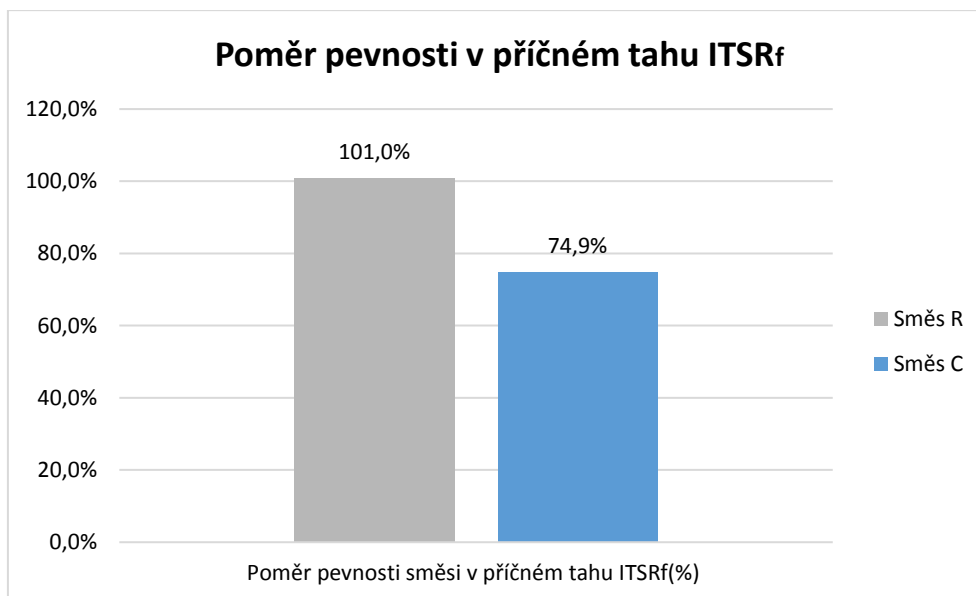


Graf č. 4 – Pevnost v příčném tahu ITS

Negativní vliv modifikátorů byl zaznamenán i u poměru pevnosti ITSR a $ITSR_f$, jak je znázorněno v následujících dvou grafech.



Graf č. 5 – Poměr pevnosti v příčném tahu ITSR



Graf č. 6 - Poměr pevnosti v příčném tahu ITS_{Rf}

Z porovnání obou směsí je jasné, že přidání použitých modifikátorů do asfaltové směsi má **negativní** vliv na pevnost v příčném tahu i odolnost vůči vodě a mrazu.

3.10.4. Odolnost vůči tvorbě trvalých deformací

Jednou z hlavních zkoušek provedených v rámci této práce bylo stanovení odolnosti asfaltové směsi proti tvorbě trvalých deformací. Výsledky této zkoušky by měly být nejvíce vypovídající o přiblížení se vlastností Restaplastu. Jak již bylo uvedeno, zkouška byla provedena malým zařízením pro zkoušku pojíždění kolem na plošných zkušebních tělesech tloušťky 60 mm. Na vyrobených tělesech byly nejprve stanoveny hodnoty objemových hmotností a míry zhutnění vyrobených zkušebních těles, jak je uvedeno v následující tabulce.

Typ směsi	Označení tělesa	Objem.hmot. SSD na Marshallových tělesech (kg/m ³)	Objem.hmot. SSD na Marshallových tělesech (kg/m ³)	Mezerovitost na plošných tělesech (%)	Míra zhutnění (%)
R	DR1	2422	2427	3,1	100,20
	DR2	2436			99,65
C	DC1	2418	2405	4,4	99,47
	DC2	2420			99,38

Tabulka 12 – Stanovení míry zhutnění pro plošná tělesa

Dle normy ČSN 12697-33 by míra zhutnění těles pro zkoušku pojíždění kolem měla mít hodnotu 99 % s tolerancí ± 1 %. Jak je patrné z tabulky, tak tělesa DR2, DC1

a DC2 splňují tento požadavek. Těleso DR1 s hodnotou míry zhutnění 100,2 (vyznačeno červeně) přesahuje toleranci míry zhutnění o 0,2 %. Vzhledem k velmi malému rozdílu od tolerované hodnoty nebylo těleso DR1 vyřazeno a bylo uznáno jako vyhovující. Za účelem vyhodnocení zkoušky pojiždění kolem byly u vyrobených plošných těles stanoveny jejich průměrné výšky, jak uvádí následující tabulka.

Typ směsi	Označení tělesa	Výška tělesa							
		h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)	h_4 (mm)	h_5 (mm)	h_6 (mm)	$\varnothing h$ (mm)	Δh (mm)
R	DR1	60,6	60,1	60,1	60,7	60,4	60,5	60,4	0,7
	DR2	60,4	60,4	60,3	61,1	60,3	60,5	60,5	1,1
C	DC1	59,9	60,1	60,9	61,1	60,0	60,0	60,31	1,1
	DC2	59,7	60,3	60,5	60,5	60,4	60,1	60,24	0,5

$\varnothing h$ – aritmetický průměr hodnot h_1 až h_4 v mm
 Δh – maximální rozdíl mezi jmenovitou tloušťkou tělesa (60 mm) a hodnotou h_i v mm

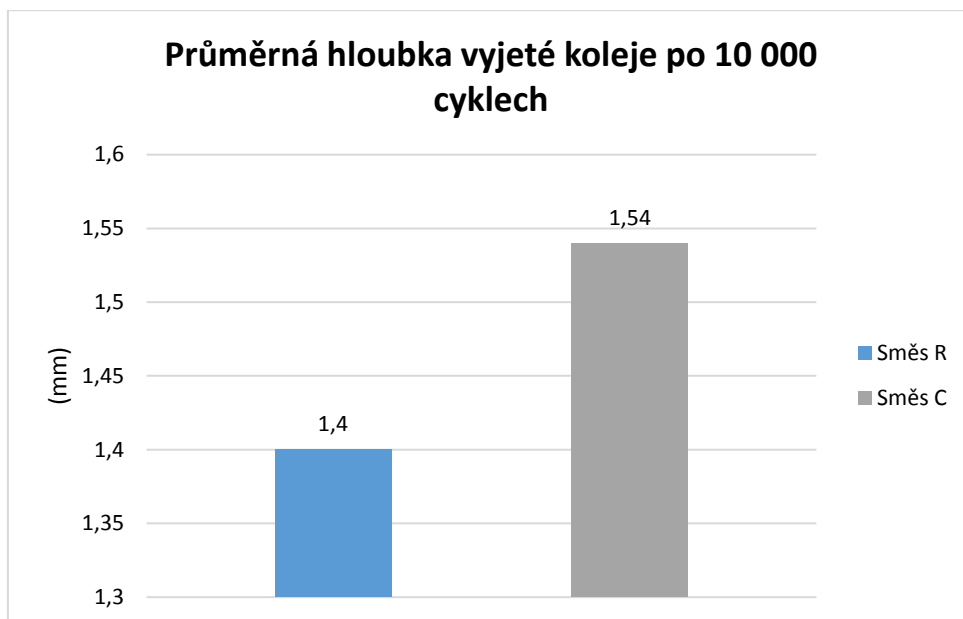
Tabulka 13 – Stanovení průměrné výšky plošných těles

Dle normy ČSN EN 12697-22+A1 bylo na základě hloubky vyjeté koleje při určitých cyklech vyhodnocen průměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje na vzduchu (WTS_{AIR}) a průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje na vzduchu (dále PRD_{AIR}). Stanovení průměrných výšek plošných těles a podrobné výsledky průběhu zkoušky všech těles jsou uvedeny v příloze této práce. V následující tabulce jsou uvedeny souhrnné výsledky zkoušky stanovení odolnosti vůči trvalým deformacím.

Typ směsi	Těleso	Trvalé deformace				Výsledné parametry	
		$d_{5\,000}$ (mm)	$\varnothing d_{5\,000}$ (mm)	$d_{10\,000}$ (mm)	$\varnothing d_{10\,000}$ (mm)	WTS_{AIR} (mm/1000 cyklů)	PRD_{AIR} (%)
R	DR1	1,33	1,30	1,44	1,40	0,019	2,2
	DR2	1,27		1,35			
C	DC1	1,35	1,44	1,47	1,54	0,02	2,4
	DC2	1,52		1,60			

Tabulka 14 – Souhrnné výsledky stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací

Z tabulky vyplývá, že rozdíl obou směsí je minimální. Rozdíl můžeme pozorovat hlavně na průměrné hloubce vyjeté koleje po 10 000 cyklech, jak je znázorněno v následujícím grafu.



Graf č. 7 – Průměrná hloubka vyjeté koleje po 10 000 cyklech

Z grafu je možné jednoznačně potvrdit, že po přidání modifikátorů do pojiva vzrostla průměrná deformace vyjeté koleje po 10 000 cyklech o 10 % oproti referenční směsi. Ze získaných výsledků zkoušky je patrné, že cíl zvýšení odolnosti směsi vůči tvorbě trvalých deformací nebyl splněn. Použité modifikátory v podstatě nemají žádný vliv na tuto vlastnost, rozdíl ve výsledcích je způsoben opakovatelností zkoušky.

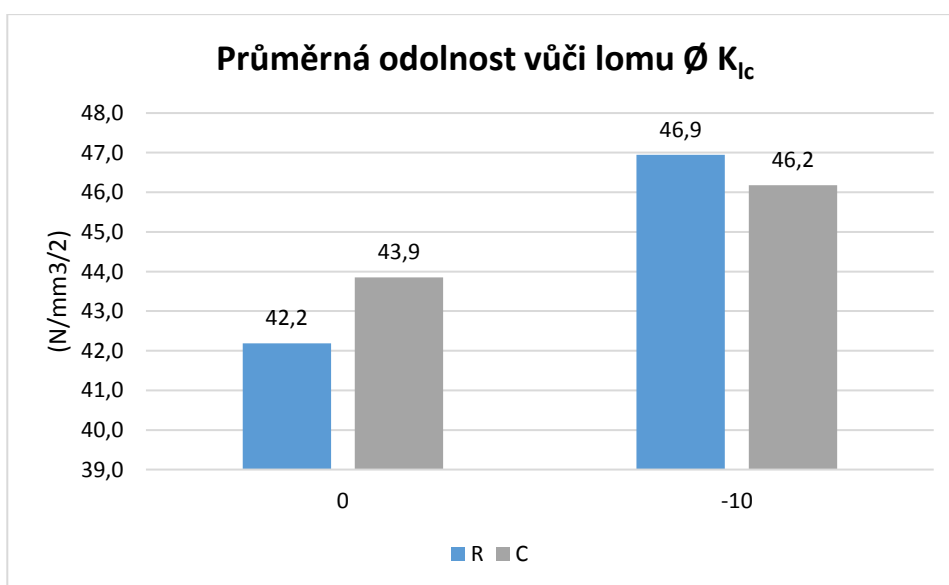
3.10.5. Odolnost vůči šíření trhlin

Zkouška odolnosti vůči šíření trhlin byla provedena dle popsaného postupu pro teploty 0 °C a -10 °C. Výsledky zkoušky byly vyhodnoceny dle postupu ČSN 12697-44 jako hodnoty **poměrného přetvoření** (ϵ_{\max}), **maximálního napětí při porušení** (σ_{\max}) a **odolnosti vůči lomu** (K_{Ic}). Souhrnný přehled těchto výsledků je uveden v následující tabulce.

Výsledky odolnosti vůči šíření trhlin při 0 °C a -10 °C						
Typ směsi	Zkušební teplota T (°C)	Průměrná maximální deformace ΔW_{\max} (mm)	Průměrná maximální síla F_{\max} (kN)	průměrné přetvoření ϵ_{\max} (-)	Průměrné maximální napětí σ_{\max} (N/mm ²)	Průměrná odolnost vůči lomu ϕK_{Ic} (N/mm ^{3/2})
R	0	0,673	6,59	1,37	5,64	42,2
C		0,952	6,90	1,92	5,89	43,9
R	-10	0,677	7,42	1,37	6,34	46,9
C		1,237	7,22	2,53	6,21	46,2

Tabulka 15 – Souhrnné výsledky odolnosti vůči šíření trhlin

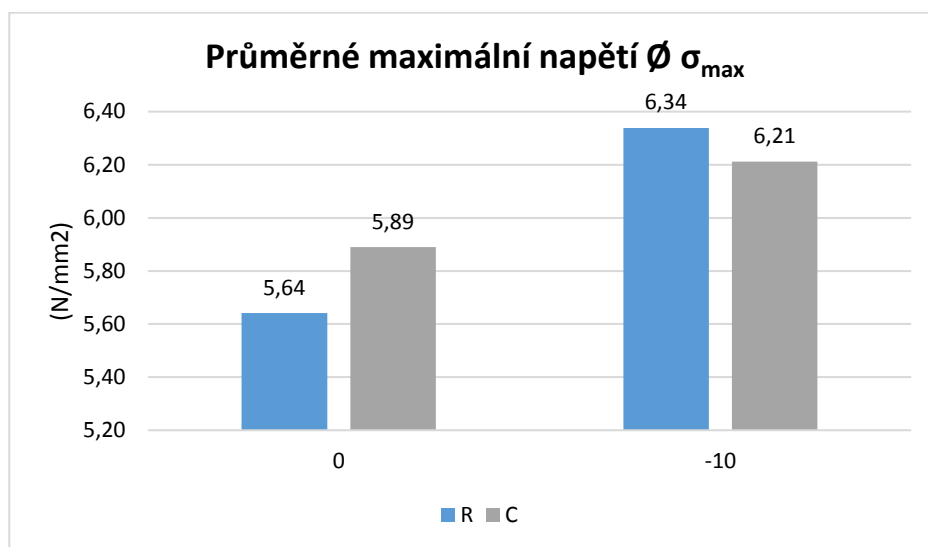
Z výsledků lze pozorovat, že výsledky odolnosti vůči lomu (K_{Ic}) obou směsí nevykazují zásadní rozdíly, jak je vidět při porovnání v následujícím grafu.



Graf č. 8 – Průměrná odolnost vůči lomu K_{Ic}

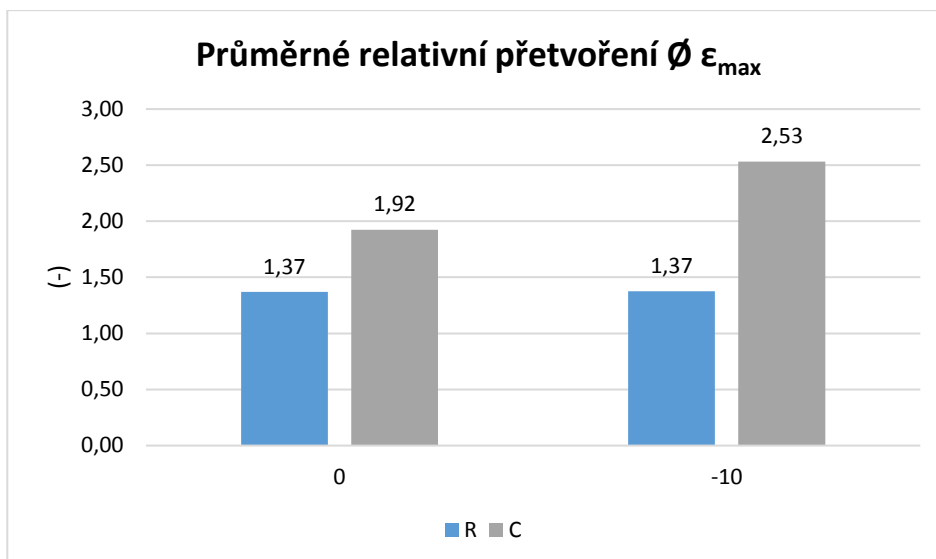
Z grafu vyplývá, že modifikace při 0 °C způsobuje mírné zlepšení odolnosti o 4 %. Při teplotě -10 °C je však vidět pokles odolnosti o 1,5 %. Tato hodnota se dá považovat za zanedbatelnou, avšak při porovnání výsledků obou teplot, lze u směsi C pozorovat značný pokles odolnosti vůči lomu vůči referenční směsi v závislosti na poklesu teploty.

Výsledky odolnosti vůči lomu jsou přímo závislé na výsledcích průměrně dosaženého maximálního napětí, z toho vyplývá, že při porovnání této hodnoty obou směsí, lze dedukovat stejných závěrů. Z následujícího grafu lze pozorovat pokles průměrného dosaženého maximálního napětí, vůči hodnotám referenční směsi při snížení teploty.



Graf č. 9 – Průměrné maximální napětí σ_{max}

Zajímavějších výsledků lze pozorovat při porovnání průměrných hodnot maximálních deformací a z toho plynoucích hodnot relativního přetvoření. V následujícím grafu lze při 0 °C u směsi C pozorovat nárůst relativního přetvoření o 40 % a při teplotě -10 °C dokonce o 85 %.



Graf č. 10 – Průměrné relativní přetvoření $\bar{\epsilon}_{\max}$

3.10.6. Pevnost v tahu za ohybu

Pro vyhodnocení zkoušky v tahu za ohybu a následujícího vyhodnocení zkoušky relaxace byly nejprve stanoveny charakteristické rozměry všech trámků, jak je uvedeno v následující tabulce.

Stanovení charakteristických rozměrů trámků									
Typ směsi	Těleso	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	b_3 (mm)	$\varnothing h$ (mm)	$\varnothing b$ (mm)
C	1C1	60,0	60,1	59,9	49,4	49,8	50,0	60,0	49,7
	1C2	61,1	60,6	60,3	49,3	49,2	49,4	60,7	49,3
R	1R1	60,6	60,8	60,7	49,9	49,6	49,5	60,7	49,7
	1R2	61,1	60,8	60,3	48,6	49,0	49,2	60,7	48,9
C	4C1	60,9	61,3	60,9	50,2	49,7	50,0	61,0	50,0
	4C2	59,8	60,1	60,3	49,4	49,4	49,4	60,1	49,4
R	4R1	61,1	60,9	60,8	49,3	49,3	48,3	60,9	49,0
	4R2	60,9	60,4	60,1	49,8	49,6	49,1	60,5	49,5
C	3C1	61,1	61,1	60,6	49,8	49,6	49,7	60,9	49,7
	3C2	59,6	59,6	60,1	50,1	50,2	49,8	59,8	50,0
R	3R1	61,4	62,0	61,4	49,8	49,4	48,9	61,6	49,4
	3R2	61,6	60,6	60,4	49,1	48,7	48,2	60,9	48,7
C	2C1	59,9	60,4	60,3	49,2	49,7	50,2	60,2	49,7
	2C2	60,6	60,9	60,9	49,0	49,3	49,7	60,8	49,3
R	2R1	61,2	61,3	61,3	49,4	49,2	49,3	61,3	49,3
	2R2	60,3	60,7	61,3	48,9	49,2	48,5	60,8	48,9

Tabulka 16 – Stanovení charakteristických rozměrů trámků

Následně byly dle TP 151 stanoveny hodnoty **pevnosti v tahu za ohybu** (R_i), **modulu tuhosti v tahu za ohybu** (E_s) a **maximálního relativního přetvoření** (ϵ_s), souhrnné výsledky stanovení těchto hodnot uvádí následující tabulka.

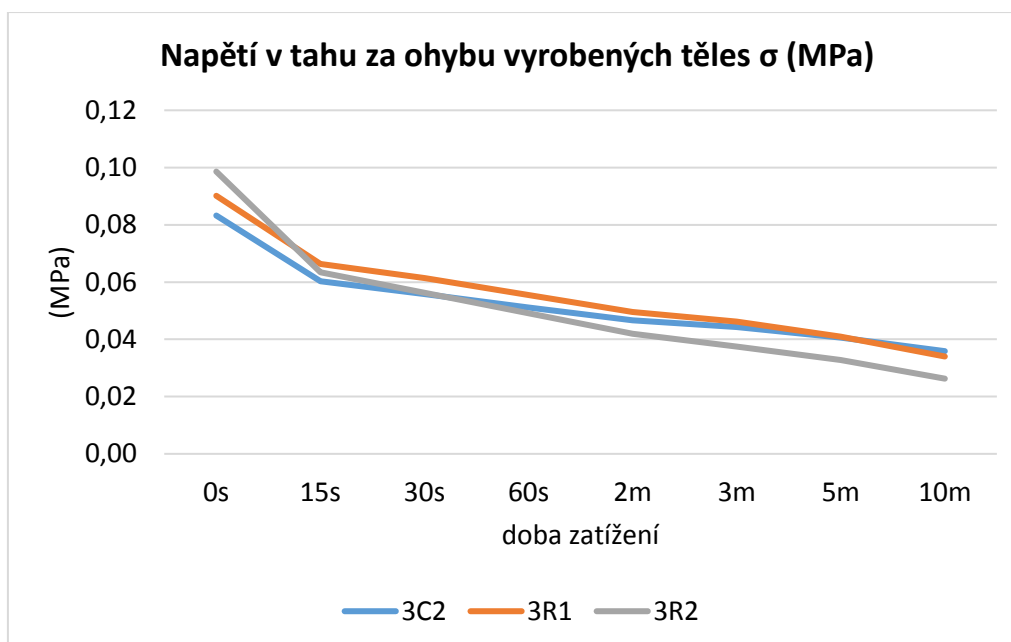
Výsledky stanovení pevnosti v tahu za ohybu při 0 °C a -10 °C				
Typ směsi	Zkušební teplota T	Pevnost v tahu za ohybu	Modul tuhosti v tahu za ohybu	Relativní přetvoření
	T (°C)	ϕR_i (MPa)	ϕE_s (MPa)	$\phi \epsilon_s$ (%)
C	0,0	9,436	1208,125	0,80
R		9,516	1910,774	0,50
C	-10,0	6,577	2154,506	0,31
R		7,059	2057,905	0,35

Tabulka 17 – Výsledky stanovení pevnosti v tahu za ohybu

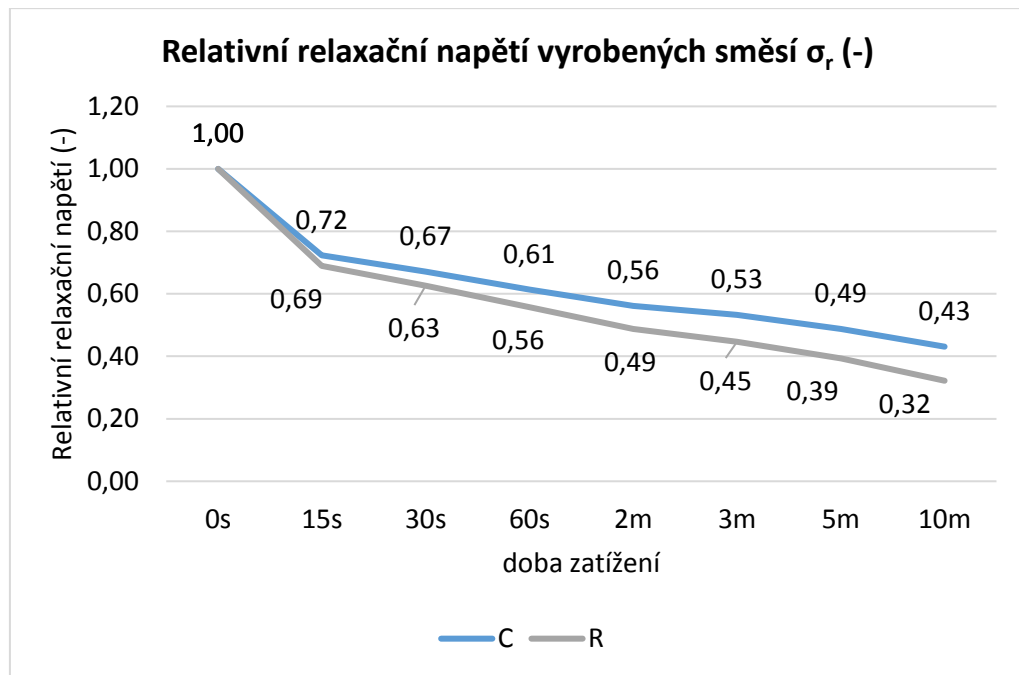
Při porovnání výsledků obou směsí lze pozorovat značný pokles modulu tuhosti u směsi C, a to o 37 %. Při teplotě -10 °C se modul tuhosti naopak zvýšil o necelých 5 % původní tuhosti referenční směsi.

3.10.7. Zkouška relaxace

Po stanovení charakteristických rozměrů těles, uvedených v předchozí kapitole, byly stanoveny výsledky dle TP 151. Následující grafy uvádí hodnoty a porovnání **napětí v tahu za ohybu** (σ) a **relativního relaxačního napětí** (σ_r).



Graf č. 11 – Napětí v tahu za ohybu vyrobených těles



Graf č. 12 – Relativní relaxační napětí vyrobených směsí

Podrobné výsledky výpočtu zkoušky relaxace jsou v příloze této práce. Z grafu porovnávacího zjištěné relativní relaxační napětí obou směsí lze pozorovat nárůst tuhosti vyrobené směsi C. Vyrobený vzorek směsi C prokázal v měřeném čase významně menší pokles vytvořeného napětí.

4. ZÁVĚR

V závěru této práce se autor věnuje shrnutí zjištěných výsledků zkoušek pojiva a asfaltových směsí a vyhodnocení splnění stanoveného cíle práce.

Z výsledků zkoušek asfaltových pojiv lze říci, že oba použité modifikátory mají pozitivní vliv na hodnotu bodu měknutí i hodnotu penetrace asfaltového pojiva. U polypropylenu Mosten MT 230 je tento vliv daleko významnější. 3% množství polypropylenu v pojivu způsobilo nárůst bodu měknutí o 17 % a pokles hodnoty penetrace dokonce o 49 % hodnoty referenčního vzorku. 3% množství pryskyřice Unilene Resin A 100 způsobilo nárůst bodu měknutí o 7 % a pokles hodnoty penetrace o 31 %. Po zjištění výsledků vlivu modifikátorů na asfaltové pojivo autor očekával, že se tyto změny projeví na vlastnostech asfaltové směsi. Autor předpokládal, že se důsledek zvýšení bodu měknutí pojiva projeví zejména zlepšením odolnosti vůči trvalým deformacím a zvýšením modulu tuhosti při vyšších teplotách. Dále autor očekával, že snížení hodnoty penetrace pojiva způsobí větší tuhost asfaltové směsi, což by se mělo projevit zejména při zkoušce pevnosti v příčném tahu.

Pomocí uvedených postupů byly v rámci práce stanoveny charakteristické vlastnosti obou vyrobených směsí a to s následujícími výsledky:

- **Maximální objemová hmotnost** se po přidání modifikovaného pojiva nezměnila a **zhutněná objemová hmotnost** mírně klesla, což je způsobeno ovlivněním viskozity pojiva a tedy jeho zpracovatelností.
- **Modul tuhosti** je modifikací pojiva za běžných teplot negativně ovlivněn, avšak bylo prokázáno, že při vysoké teplotě mají modifikátory na směs v tomto směru pozitivní dopad, což potvrdilo autorův předpoklad. Při teplotě 0 °C byl pozorován pokles modulu tuhosti modifikované směsi o 13 %. Při zkušební teplotě 40 °C se však modul tuhosti modifikované směsi naopak zvýšil, a to až o 29 %, vůči směsi referenční. Tento jev lze přisuzovat polypropylenu, který se vyznačuje poměrně vysokou tuhostí i při vyšších teplotách.
- V práci bylo prokázáno, že použití výše zmíněného modifikovaného pojiva má negativní vliv na **pevnost směsi v příčném tahu ITS, poměrné pevnosti směsí v příčném tahu ITSR** (odolnost vůči vodě) a **poměrné pevnosti směsí v příčném**

tahu ITSR_f (odolnost vůči vodě s aplikací zmrazovacího cyklu). U modifikované směsi byl pozorován pokles pevnosti ITS o zhruba 21 % vůči směsi referenční. Poměr pevnosti v příčném tahu ITSR poklesl po přidání modifikátorů z hodnoty 84,6 % na hodnotu 64,7 % a poměr pevnosti v příčném tahu ITSR_f poklesl ze 101 % na 74,9 %. Výsledné hodnoty nepotvrdily autorův předpoklad, že dojde k nárůstu pevnosti v příčném tahu. Tyto výsledky však mohly být způsobeny nízkou teplotou směsi při hutnění a s tím souvisejícím nedostatečným obalením zrn kameniva pojivem.

- V práci bylo zjištěno, že použité modifikátory mají mírně negativní vliv na **tvorbu trvalých deformací** asfaltových směsí. U směsi s modifikovaným pojivem, byla stanovena průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech o 10 % větší, než u referenční směsi. V kapitole informující o směsi Restaplast autor uvádí, že požadovaná hodnota hloubky vyjeté koleje po 10 000 pojezdech (5 000 cyklech) je maximálně 1,2 mm, čehož se modifikací pojiva nepodařilo dosáhnout.
- Z výsledků stanovení **pevnosti v tahu za ohybu** lze říci, že modifikace měla negativní dopad na tuto vlastnost asfaltové směsi. Při porovnání výsledků obou směsí lze pozorovat značný pokles modulu tuhosti při teplotě 0 °C u modifikované směsi C, a to o 37 %. Při teplotě -10 °C se modul tuhosti naopak zvýšil o necelých 5 % původní tuhosti referenční směsi, což se však nedá považovat za významnou změnu.
- Z výsledků zkoušky **relaxace** lze odvodit, že směs s modifikovaným pojivem má větší tuhost, což je patrné ze zhruba 34% nárůstu relativního relaxačního napětí oproti referenční směsi.

Z výše uvedeného shrnutí výsledků je patrné, že se nepodařilo zlepšení vlastností asfaltové směsi, jak bylo cílem autora v této práci. Použití polypropylenu PP MOSTEN MT 230 a pryskyřice Unilene Resin A 100 má na většinu zkoušených vlastností směsi minimální vliv.

Jak již autor zmínil, tak zůstává otázkou, zda byla zvolena dostatečně vysoká teplota výroby směsi a následného hutnění. Z výsledků pojiv je patrné, že modifikátory plní svůj účel a to by se mělo projevit i na vlastnostech asfaltové směsi. Vzhledem k poměrně vysokému množství polypropylenu v pojivu, nemuselo být pojivo při výrobě dostatečně tekuté a nemuselo tak dojít k dostatečnému obalení zrn kameniva. To by

způsobilo výrazné změny všech pozorovaných vlastností směsi. Autor proto doporučuje zvýšit teplotu výroby i hutnění a znovu provést stanovení vybraných vlastností směsi.

Autor zpracováním této práce potvrdil, že použité modifikátory mají pozitivní vliv na vlastnosti asfaltového pojiva. V práci se však nepodařilo potvrdit, že by modifikátory zvyšovaly odolnost vůči trvalým deformacím, či zásadně ovlivňovaly ostatní vlastnosti asfaltových směsí. Odkrytí tajemství technologie výroby směsi Restaplast je tak zřejmě otázkou dalšího navazujícího výzkumu.

5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] R. N. HUNTER, A. SELF a J. READ, The Shell Bitumen handbook. Sixth edition. ISBN 978-0-7277-5837-8., One Great George Street, Westminster, Shell International Petroleum Company Ltd, 2015.
- [2] P. BUREŠ, D. CIHLÁŘOVÁ, V. PCHÁLKOVÁ, M. ŘEZÁČ a T. SEIDLER, „<http://www.stavebniinzenyrstvi.cz/>,“ 2013. [Online]. Available: http://www.stavebniinzenyrstvi.cz/wp-content/uploads/2014/09/PK_navrhovani_-a_-stavba.pdf. [Přístup získán 25 duben 2017].
- [3] Dr.Ing.VARAUS, Michal, „Pozemní komunikace II - modul 3 Asfaltová pojiva,“ Vysoké učení technické v Brně - fakulta stavební, 2005. [Online]. Available: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BM02-Pozemni%20komunikace%20II/Pozemni%20komunikace%20II%20-%20Asfaltova%20pojiva.pdf>. [Přístup získán 25 duben 2017].
- [4] ČSN EN 12591 *Asfalty a asfaltová pojiva - Specifikace pro silniční asfalty*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2009.
- [5] ČSN 14023 *Asfalty a asfaltová pojiva - Systém specifikace pro polymerem modifikované asfalty*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2010.
- [6] L. SOUKUPOVÁ, Funkční charakteristiky asfaltových pojiv s mikromletou pryží a různými typy katalyzátorů a chemických přísad, sv. DIPLOMOVÁ PRÁCE, Praha: ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra silničních staveb, 2013.
- [7] „PP MOSTEN MT 230 - Technický list,“ [Online]. Available: http://www.unipetrol.cz/cs/NabidkaProduktu/PetrochemickeProdukty/Polyolefiny/Technical%20datasheet/Technical%20datasheet%20Mosten_MT%20230_cz.pdf. [Přístup získán 29 Duben 2017].
- [8] Braskem, „Unilene a Serie - Data Sheet,“ June 2015. [Online]. Available: <http://www.braskem.com.br/usa/product-search?p=496>. [Přístup získán 29 Duben 2017].

- [9] P. HÝZL, „Praktické aplikace v pozemních komunikacích - modul 6, Asfaltové směsi,“ Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, 2006. [Online]. Available:[http://lences.cz/skola/subory/-%20-%20PREDMETY%20%20\(semester%201%20-%2010\)%20-%20-/6-semester/-%20BM02%20-%20Pozemni%20komunikace%20II/Prednasky/T%C3%A9ma%207%20text%20-%20Asfaltov%C3%A9%20sm%C4%9Bsi.pdf](http://lences.cz/skola/subory/-%20-%20PREDMETY%20%20(semester%201%20-%2010)%20-%20-/6-semester/-%20BM02%20-%20Pozemni%20komunikace%20II/Prednasky/T%C3%A9ma%207%20text%20-%20Asfaltov%C3%A9%20sm%C4%9Bsi.pdf). [Přístup získán 29 4 2017].
- [10] Prof. Ing.Gschwendt, Ivan DrSc. a kolektiv, VOZOVKY Materiály a technologie, Bratislava: Jaga group, v.o.s., 2001.
- [11] ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály –část 1: Asfaltový beton, Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [12] VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, TP 151 Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti (VMT), Brno: Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury, 2010.
- [13] ČSN EN 13108-2 Asfaltové směsi - Směsi pro materiály - Část 2: Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy, Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [14] ČSN EN 13108-5 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - část 5: Asfaltový koberec mastixový, Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [15] ČSN EN 13108-6 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - část 6: Litý asfalt, Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [16] ČSN EN 13108-7 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 7: Asfaltový koberec drenážní, Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [17] F. Drápal, „www.zastavka.net,“ 2004-2017. [Online]. Available: <http://www.zastavka.net/fd-svet/pre23.jpg>. [Přístup získán 12 věten 2017].
- [18] „Vyškov městský úřad,“ [Online]. Available: http://www.vyskov-mesto.cz/prilohy/18857/2016/2159219_20160711_191030.jpg. [Přístup získán 12 květen 2017].
- [19] F. LUXEMBURK a K. Miroslav, Pozemní komunikace 30, Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002.

- [20] Doc. Ing. Hanzlík, Václav, CSc.; Ing. Klapka, Pavel; Ing. Mondschein, Petr, Ph.D.; Doc. Ing. Luxemburk, František, CSc.; Ing. Otta, Martin; Daniel, Sova, Pokládková
hutněných asfaltových směsí, Praha: sdružení pro výstavbu silnic Praha, 2015.
- [21] ČSN EN 1426 *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení penetrace jehlou*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2015.
- [22] ČSN EN 1427 *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička*, Praha: Český normalizační ústav, 2015.
- [23] ČSN EN 12697 - 35+A1, Praha: Český normalizační ústav, 2007.
- [24] ČSN EN 12697-30 *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem*, Praha: Český normalizační ústav, 2012.
- [25] ČSN EN 12697-33+A1 *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek*, Praha: Český normalizační ústav, 007.
- [26] ČSN EN 12697-6 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa*, Praha: Český normalizační ústav, 2012.
- [27] ČSN EN 12697-5 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti*, Praha: Český normalizační ústav, 2010.
- [28] ČSN EN 12697-26 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost*, Praha: Český normalizační ústav, 2012.
- [29] ČSN EN 12697-12 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě*, Praha: Český normalizační ústav, 2009.
- [30] ČSN EN 12 697-23 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu*, Praha: Český normalizační ústav, 2005.

- [31] ČSN EN 12697-22+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem*, Praha: Český normalizační ústav, 2007.
- [32] ČSN EN 12697-44 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 44: Šíření trhliny zkouškou ohybem na půlválcovém zkušebním tělese*, Praha: Český normalizační ústav, 2011.

6. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Základní typy používaných modifikátorů a jejich příklady [1]	16
Tabulka 2 – Základní vlastnosti Restaplatu [19]	27
Tabulka 3- Přehled a označení vyrobených vzorků asfaltového pojiva.....	30
Tabulka 4 – Teploty a časy míchání k dosažení homogenity vzorků	31
Tabulka 5 – Souhrnná tabulka výsledků zkoušek pojiva.....	35
Tabulka 6 – Přehled vyráběných asfaltových směsí	37
Tabulka 7 – Souhrnný přehled vyrobených těles a provedených zkoušek.....	40
Tabulka 8 – Přehled cyklů provedených na tělesech před stanovením pevnosti v příčném tahu	53
Tabulka 9 – Souhrnné výsledky zkoušek objemové hmotnosti.....	64
Tabulka 10 - Souhrnné výsledky zkoušky stanovení modulu tuhosti IT-CY.....	65
Tabulka 11 – Souhrnné výsledky zkoušky stanovení ITS, ITSR a ITSR _f	66
Tabulka 12 – Stanovení míry zhutnění pro plošná tělesa.....	68
Tabulka 13 – Stanovení průměrné výšky plošných těles.....	69
Tabulka 14 – Souhrnné výsledky stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací .	69
Tabulka 15 – Souhrnné výsledky odolnosti vůči šíření trhlin	71
Tabulka 16 – Stanovení charakteristických rozměrů trámků	73
Tabulka 17 – Výsledky stanovení pevnosti v tahu za ohybu	74

7. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1 – Asfalt – visko-elastický materiál [3]	14
Obrázek č. 2 – PP Mosten MT 230 (vlevo) [zdroj vlastní], Konzistence použitého polymeru PP Mosten MT 230 (vpravo) [zdroj vlastní]	19
Obrázek č. 3 –Unilene Resin A 100 (vlevo) [zdroj vlastní], konzistence Unilene Resin A 100 (vpravo) [zdroj vlastní]	19
Obrázek č. 4 – Pokládka barevného koberce BBTM 8A+ [2]	23
Obrázek č. 5 – Schopnost drenážního koberce odvádět vodu [2]	24
Obrázek č. 6 – vyjetá kolej na autobusové zastávce (vlevo) [9], vytlačení asfaltové směsi na okraj vozovky (vpravo) [10]	25
Obrázek č. 7 – Laboratorní míchadlo (vlevo) [zdroj vlastní], navážení přesného množství modifikátoru (vpravo) [zdroj vlastní]	30
Obrázek č. 8 – Penetrometr s teploměrem a digitálním měřením hodnot vpichu (vlevo) [zdroj vlastní], vzorky pojiva připravené k provedení zkoušky (vpravo) [zdroj vlastní].....	32
Obrázek č. 9 – Laboratorní míchačka (vlevo) [zdroj vlastní], Sušárna k nahřátí vstupních materiálů (vpravo) [zdroj vlastní].....	38
Obrázek č. 10 - Rázový zhutňovač s ocelovým podstavcem (vlevo) [zdroj vlastní], Výtlačné zařízení (vpravo) [zdroj vlastní]	41
Obrázek č. 11 – Lamelový zhutňovač (vlevo) [zdroj vlastní], Vyrobená plošná tělesa (vpravo) [zdroj vlastní]	43
Obrázek č. 12 – Stanovení hmotnosti suchého tělesa (vlevo) [zdroj vlastní], Váhy přizpůsobené vážení ponořených těles (vpravo) [zdroj vlastní]	46
Obrázek č. 13 - Stanovení rozměrů desky (vlevo) [zdroj vlastní], Stanovení rozměrů Marshallova tělesa (vpravo) [zdroj vlastní].....	47
Obrázek č. 14 – Stanovení hmotnosti pyknometru s vysušeným vzorkem (vlevo) [zdroj vlastní], Vývěva s manometrem k odzdušnění pyknometru (vpravo) [zdroj vlastní].....	48
Obrázek č. 15 – Zatěžovací zařízení v termostatické komoře (vlevo) [zdroj vlastní] , Počítač s programem zaznamenávajícím údaje o zkoušce (vpravo) [zdroj vlastní],.....	52

Obrázek č. 16 – Tělesa ve vakuové nádobě (vlevo) [zdroj vlastní], Tělesa při zahájení zmrazovacího cyklu (vpravo) [zdroj vlastní].....	54
Obrázek č. 17 – Zatěžovací lis s umístěným Marshallovým tělesem (vlevo) [zdroj vlastní], Měřicí zařízení (vpravo) [zdroj vlastní].....	56
Obrázek č. 18 – Malé zařízení pro zkoušku pojíždění kolem (vlevo) [zdroj vlastní], Detail zařízení během zkoušky pojíždění kolem (vpravo) [zdroj vlastní]	58
Obrázek č. 19 – Těleso ve zkušebním zařízení (vlevo) [zdroj vlastní], Ověření platnosti zkoušky (vpravo) [zdroj vlastní].....	60
Obrázek č. 20 – Trámek při zkoušce tahu za ohybu (vlevo) [zdroj vlastní], měření rozměrů zkušebního tělesa (vpravo) [zdroj vlastní]	61
Obrázek č. 21 – Zkušební těleso umístěné do zatěžovacího zařízení (vlevo) [zdroj vlastní], Odečítání hodnot zatížení v průběhu zkoušky (vpravo) [zdroj vlastní]...	63

8. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Technický list PP MOSTEN MT 230 [7]	85
Příloha č. 2 – Data Sheet UNILENE A Serie [8]	87
Příloha č. 3 – Výsledky empirických zkoušek pojiva	88
Příloha č. 4 – Podrobné výsledky zkoušky stanovení modulu tuhosti.....	89
Příloha č. 5 – Výsledky zkoušky stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací pro směs R.....	91
Příloha č. 6 - Výsledky zkoušky stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací pro směs R.....	93
Příloha č. 7 – Výsledky zkoušky stanovení pevnosti v příčném tahu a odolnosti vůči vodě a mrazu.	95
Příloha č. 8 – Výsledky stanovení odolnosti vůči šíření trhlin.....	96
Příloha č. 9 – Výsledky zkoušky stanovení pevnosti v tahu za ohybu	97
Příloha č. 10 – Výsledky zkoušky relaxace asfaltových směsí při teplotě 0 °C	98

Příloha č. 1 – Technický list PP MOSTEN MT 230 [7]

PP MOSTEN® MT 230

TECHNICKÝ LIST

HOMOPOLYMER PRO VSTŘIKOVÁNÍ

MFR (230/2,16): 30 g/10 min

Mosten MT 230 je polypropylen vyráběný v Unipetrolu RPA technologií INNOVENE™ PP.

Charakteristika

- antistatikum
- vysoký lesk a vysoká tuhost
- splňuje EN 71-3,9 Bezpečnost hraček
- nukleace
- bezftalátový

Mezinárodní označení

ISO 19069-PP-H,,MTZ,16-02-400

Aplikace

- transparentní tenkostěnné produkty, např. domácí potřeby
- uzávěry

Materiálové vlastnosti (typické hodnoty, netvoří specifikaci daného typu)

Parameter	Zkušební metoda	Jednotka	Hodnota
REOLOGICKÉ VLASTNOSTI			
Index toku taveniny (230 °C/2,16 kg)	ISO 1133-1	g/10 min	30
Výrobní smrštění podélně	ISO 294-3,4	%	2,03
Výrobní smrštění napříč			2,45
MECHANICKÉ VLASTNOSTI			
Modul pružnosti v ohybu	ISO 178	MPa	1800
Modul pružnosti v tahu	ISO 527-1,2	MPa	1700
Napětí na mezi kluzu		MPa	38
Prodloužení na mezi kluzu		%	10
Celková tažnost		%	30
Vrubová houževnatost Charpy 23 °C	ISO 179-1	kJ/m ²	2
TEPLOTNÍ VLASTNOSTI			
Teplota tání (DSC)	ISO 11357-1, 3	°C	168 - 172
Teplota měknutí dle Vicata (VST)	ISO 306	°C	155
HDT (1,8 MPa)	ISO 75-1,2	°C	58
OSTATNÍ VLASTNOSTI			
Tvrdost Shore D	ISO 868	-	65
Zákal	interní norma	%	20

Zpracovatelské podmínky

Parametr	Doporučená hodnota	Jednotka
Teplota taveniny	200 - 280	°C
Teplota formy	20 - 60	°C
Dotlak	(60 - 80) % vstříkovacího tlaku	%
Délka šneku	(15 - 25) d*	-

*Průměr šneku



PP MOSTEN®

TECHNICKÝ LIST

Vzhledové vlastnosti

PP Mosten neobsahuje žádné mechanické nečistoty. Je dodáván v podobě přírodního granulátu. Typické rozmezí sypané hmotnosti PP Mosten je (450 - 600) kg/m³.

Teplotní vlastnosti

PP Mosten se vyznačuje dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi. Oblast teplot tání krystalického podílu homopolymerů je (160 - 168) °C, kopolymerů (125 - 168) °C. Teplota skelného přechodu T_g homopolymerů je cca -10 °C. Se snižující se teplotou klesá houževnatost materiálu a pod teplotou -20 °C je materiál již značně křehký. V oblasti záporných teplot je vhodnější použít kopolymer, které mají obecně teplotu skelného přechodu T_g posunutou k výrazně nižším hodnotám než homopolymer. V oblasti vysokých teplot lze PP Mosten používat trvale do 100 °C, tepelně stabilizované typy do 105 °C. Stupeň tepelné stability všech typů PP Mosten je takový, že při obvyklém způsobu zpracování nedochází k významné degradaci materiálu.

Fyzikálně-chemické vlastnosti

PP Mosten je díky svému nepolárnímu charakteru v širokém rozsahu teplot a koncentrací chemicky velmi stálý vůči roztokům anorganických solí, kyselin a zásad. Neodolává pouze oxidačním činidlům (např. koncentrovaná kyselina dusičná, oleum, halogeny), v halogenovaných aromatických uhlovodících a v některých rozpouštědlech za zvýšených teplot bobtná. Navlhavost a nasákavost PP Mosten je velmi malá (0,2 %). Sorpce vody se týká pouze povrchu materiálu, je ho proto použit v prostředí s proměnnou relativní vlhkostí, aniž by docházelo k rozměrovým změnám výrobků či změnám mechanických vlastností.

Při zpracování PP Mosten může působit obtíže vlhkost, zkondenzovaná při přenosu materiálu z prostředí chladnějšího do prostředí teplejšího. Při teplotách skladování nižších než 20 °C se doporučuje kondicionovat materiál min. 24 h před vlastním zpracováním v výrobní hale.

Zdravotní nezávadnost

PP Mosten splňuje požadavky těchto nařízení a předpisů, v platném znění:

- Zákona č. 152/1995 Sb.;
- Vyhlášky MZ ČR č. 38/2001 Sb.;
- Nařízení Evropského Parlamentu (EP) a Rady (ES) č. 1935/2004;
- Nařízení EP a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH) - při výrobě tohoto typu PP Mosten nebyly použity žádné ftaláty;
- Nařízení Komise (EU) č. 10/2011, v platném znění.

Požární a bezpečnostně-technické charakteristiky

PP Mosten není podle nařízení EP a Rady (ES) č. 1272/2008 (CLP) klasifikován jako nebezpečná látka ani nespĺňuje žádnou z dalších podmínek uvedených v čl. 31 nařízení EP a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH), a proto se na něj nevztahuje povinnost poskytovat příjemci bezpečnostní list. Povinné informace o produktu podle čl. 32 nařízení EP a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH) a další údaje jsou uvedeny ve „Sdělení“ výrobce. Dokument je k dispozici na www.unipetrolrpa.cz nebo na vyžádání.

Skladování a manipulace

PP Mosten se dodává v polyetylenových pytlích (>PE-LD<) o hmotnosti 25 kg. Pytle se ukládají v počtu 55 kusů na paletách, fixovaných smršťovací fólií (>PE-LD<). Fólie chrání výrobek proti poškození a zvyšuje jeho životnost. Ložené palety jsou určeny ke stohování do 2 vrstev, výjimečně do 3 vrstev. PP Mosten může být alternativně dodáván volně ložený v autocisternách. Jiný způsob balení nebo dopravy je možný po dohodě s odběratelem.

PP Mosten je skladován v suchém, větraném, zastřešeném skladu, jehož prostory jsou chráněny před přímými účinky slunečního záření. Doporučené rozmezí teplot ve skladu je -20 °C až +50 °C. Vzdálenost od zdroje tepla je nejméně 1 m.

Doporučená doba skladování PP Mosten v uzavřených obalech za stanovených podmínek skladování je až 1 rok. Při delším skladování je vhodné ověřit vlastnosti materiálu před jeho zpracováním.

Obaly

Obaly, použité výrobcem pro balení materiálu PP Mosten splňují požadavky §3 a 4 zákona č. 477/2001 Sb. o obalech, v platném znění. Obaly jsou navrženy a vyrobeny podle technických předpisů pro hmotnost a objem výrobků, pro které jsou určeny.

Materiál obalů neobsahuje klasifikované nebezpečné látky. Součet obsahu těžkých kovů v obalu (olova, kadmia, rtuti a šestimocného chromu) nepřekračuje limitní hodnotu 100 ppm.

Doporučené zařazení dle Katalogu odpadů: č. 15 01 02 (plastové obaly), č. 15 01 03 (dřevěné palety).

Doporučené způsoby využívání odpadů: materiálové využití, energetické využití.

Pokyny pro nakládání s odpadem ze zpracování PE

Výrobky z PP Mosten a neznečištěný odpad, který vzniká při jeho zpracování, lze recyklovat a dále zpracovat na technické výrobky. V souladu s ČSN 77 0052-2 a ČSN EN ISO 11469 se pro polypropylen používá druhová materiálová značka >PP<. Materiálové značení na výrobcích z polypropylenů usnadňuje identifikaci materiálu při sběru, třídění, využívání či odstraňování uživatelského odpadu.

PP Mosten z produkce Unipetrol RPA neobsahuje olovo, kadmium, rtuť ani šestimocný chrom, přičemž součet koncentrací těchto těžkých kovů nepřesahuje limitní hodnotu 100 ppm. Odpad z PP Mosten zařazuje původce odpadu dle platné legislativy.

Doporučené zařazení podle Katalogu odpadů - č. 07 02 13.

Doporučené způsoby využívání odpadů: materiálové využití, energetické využití.



UNILENE® A Serie

Description

Thermoplastic resin with a low molecular weight obtained through catalytic polymerization of hydrocarbons by continuous process, pastillated in pearls-shaped and presented in soft yellow colored scale. Compatible with the most solvents and polymeric materials.

Application

Rubber – improves the processability of compounds, fillers incorporation, dispersion and tack of the mass, avoiding the elastomer deterioration and reducing the preparation time.

Hot Melt and Solvent Based Adhesives – promotes tack, wetting, cohesion, open time control and water repellent.

Others – mastics and asphalts, concretes curing, paint and varnishes, road marking paints and plastics compounds.

Technical Specification

	A80	A90	A100	Analyze Method
Softening Point (°C)	75 - 86	87- 96	96 - 105	ASTM D 6493
Gardner Color (50% in toluene)	7 max.	7 max.	6 max.	ASTM D 6166
Acid Value (mgKOH/g)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	ASTN D 974

Packaging and Storage

Resins are supplied in 25 kg polyethelene bags, pelleted and unitized. The Unilene® A Serie must be stored at temperatures under 40°C, and protected from direct sunlight, moisture and over pallets in order to avoid direct contact with the soil.

Shelf Life

2 (two) years from production, since the recommended storage conditions are respected.

Precautions and Safety

Please refer to the Material Safety Data Sheet.

Final Remarks

The information presented in this Data Sheet reflects typical values obtained in our laboratories, but should not be considered as absolute or as warranted values. Only the properties and values mentioned on the Certificate of Quality are considered as guarantee of the product.

In case of doubt regarding utilization, or for other applications, please contact our Technical Assistance.

For information about safety, handling, individual protection, first aids and waste disposal, please see MSDS. The mentioned values in this report can be changed at any moment without Braskem previous communication. The content of this Data Sheet replaces previous revisions published for this product.

Příloha č. 3 – Výsledky empirických zkoušek pojiva

Stanovení bodu měknutí						
Vzorek	Množství PP (%)	Množství Pryskyřice (%)	Odečtená hodnota bodu měknutí (°C)			Průměr (°C)
R	0	0	49,6	50,5		50
A1	1	0	54,6	54,9		54,8
A2	2	0	58,2	58,4		58,4
A3	3	0	58,5	58,6		58,6
B1	0	1	53,3	53,4		53,4
B2	0	2	53,6	53,5		53,6
B3	0	3	53,8	53,9		53,8
C1	1	1	54,0	54,4		54,2
C2	2	2	55,4	55,5		55,4
C3	3	3	57,6	57,8		57,8

Stanovení hodnoty penetrace						
Vzorek	Množství PP (%)	Množství Pryskyřice (%)	Odečtená hodnota penetrace (0,1 mm)			Průměr (0,1 mm)
R	0	0	51,8	50,1	50,4	50,77
A1	1	0	31,6	31,8	32,2	31,87
A2	2	0	29,4	29,3	28,8	29,17
A3	3	0	25,8	26,4	26,1	26,10
B1	0	1	37,7	38,6	36,7	37,67
B2	0	2	37,0	36,6	36,0	36,53
B3	0	3	34,4	34,7	35,3	34,80
C1	1	1	36,5	34,6	36,6	35,90
C2	2	2	31,3	32,8	32,0	32,03
C3	3	3	26,1	25,5	25,9	25,83

Příloha č. 4 – Podrobné výsledky zkoušky stanovení modulu tuhosti

Modul tuhosti IT-CY při 0°C					
Asfaltová směs	Označení tělesa	Číslo měření	Naměřená hodnota(MPa)	Výsledná hodnota modulu tuhosti tělesa(MPa)	Výsledná hodnota modulu tuhosti asfaltové směsi(MPa)
Směs R	R1	1.	26 735	26 882	26 578
		2.	27 028		
	R2	1.	26 618	26 888	
		2.	27 157		
	R3	1.	24 376	24 962	
		2.	25 547		
	R4	1.	26 805	27 286	
		2.	27 766		
	R5	1.	25 361	26 354	
		2.	27 346		
	R6	1.	27 961	27 100	
		2.	26 238		
Směs C	C1	1.	25 715	25 950	23 585
		2.	26 184		
	C2	1.	24 043	24 458	
		2.	24 872		
	C3	1.	22 259	22 545	
		2.	22 830		
	C4	1.	21 198	21 142	
		2.	21 086		
	C5	1.	22 138	23 003	
		2.	23 868		
	C6	1.	24 216	24 413	
		2.	24 609		

Modul tuhosti IT-CY při 15°C					
Asfaltová směs	Označení tělesa	Číslo měření	Naměřená hodnota(MPa)	Výsledná hodnota modulu tuhosti tělesa(MPa)	Výsledná hodnota modulu tuhosti asfaltové směsi(MPa)
Směs R	R1	1.	13 317	13 128	12 521
		2.	12 938		
	R2	1.	14 279	13 906	
		2.	13 533		
	R3	1.	12 048	12 255	
		2.	12 462		
	R4	1.	12 002	12 474	
		2.	12 945		
	R5	1.	11 878	11 792	
		2.	11 705		
	R6	1.	11 219	11 573	
		2.	11 927		
Směs C	C1	1.	12 877	13 225	11 995
		2.	13 573		
	C2	1.	12 463	12 170	
		2.	11 877		
	C3	1.	10 220	10 695	
		2.	11 170		
	C4	1.	12 626	12 102	
		2.	11 578		
	C5	1.	13 445	12 819	
		2.	12 192		
	C6	1.	11 189	10 960	
		2.	10 730		

Modul tuhosti IT-CY při 27°C					
Asfaltová směs	Označení tělesa	Číslo měření	Naměřená hodnota(MPa)	Výsledná hodnota modulu tuhosti tělesa(MPa)	Výsledná hodnota modulu tuhosti asfaltové směsi(MPa)
Směs R	R1	1.	5 048	4 969	5 098
		2.	4 890		
	R2	1.	5 335	5 401	
		2.	5 466		
	R3	1.	4 888	4 788	
		2.	4 687		
	R4	1.	4 817	4 759	
		2.	4 700		
	R5	1.	5 283	5 119	
		2.	4 955		
	R6	1.	5 557	5 553	
		2.	5 548		
Směs C	C1	1.	4 617	4 582	4 542
		2.	4 547		
	C2	1.	4 723	4 556	
		2.	4 389		
	C3	1.	4 358	4 553	
		2.	4 747		
	C4	1.	4 420	4 578	
		2.	4 735		
	C5	1.	4 634	4 680	
		2.	4 726		
	C6	1.	4 328	4 305	
		2.	4 282		

Modul tuhosti IT-CY při 40°C					
Asfaltová směs	Označení tělesa	Číslo měření	Naměřená hodnota(MPa)	Výsledná hodnota modulu tuhosti tělesa(MPa)	Výsledná hodnota modulu tuhosti asfaltové směsi(MPa)
Směs R	R1	1.	1 235	1 253	1 234
		2.	1 270		
	R2	1.	1 313	1 316	
		2.	1 319		
	R3	1.	1 210	1 158	
		2.	1 106		
	R4	1.	1 234	1 201	
		2.	1 168		
	R5	1.	1 312	1 212	
		2.	1 112		
	R6	1.	1 289	1 263	
		2.	1 237		
Směs C	C1	1.	1 571	1 619	1 591
		2.	1 666		
	C2	1.	1 578	1 509	
		2.	1 440		
	C3	1.	1 663	1 592	
		2.	1 520		
	C4	1.	1 711	1 669	
		2.	1 627		
	C5	1.	1 661	1 662	
		2.	1 662		
	C6	1.	1 505	1 496	
		2.	1 487		

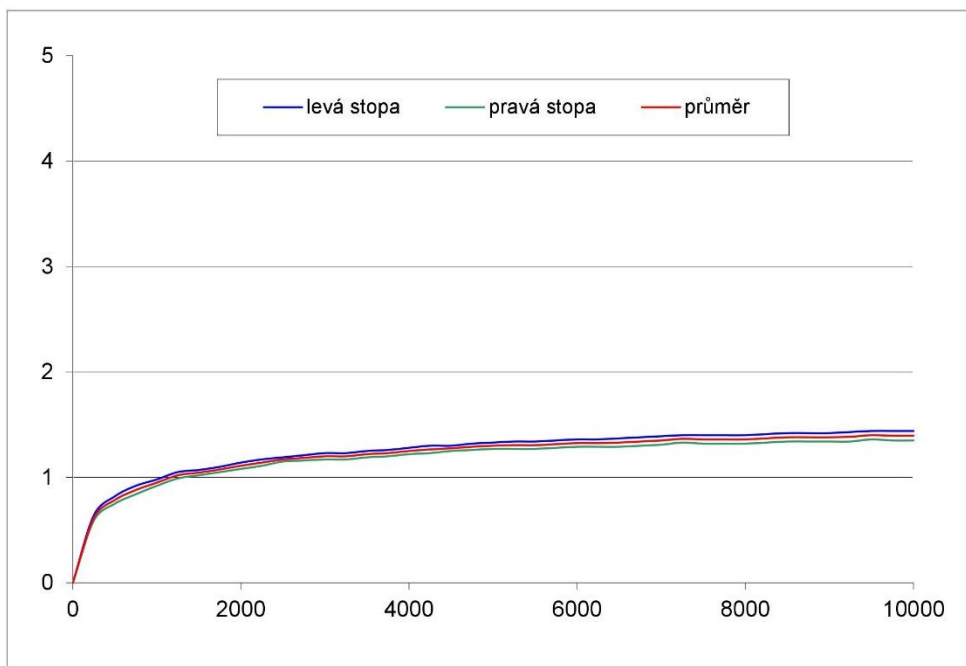
Příloha č. 5 – Výsledky zkoušky stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací pro směs R

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - Směs R

provedeno dle ČSN EN 12697-22

teplota zkoušky (50°C)	50	Tloušťka desky 1 (mm)	60,40
průměrná tloušťka (mm)	60,45	Tloušťka desky 2 (mm)	60,50

Č.CYKLU	L1(0,1mm)	L2(0,1mm)	Měřená deformace L1 (mm)	Měřená deformace L2 (mm)	Průměrná deformace (mm)
0	-610	-157	0,000	0,000	0,000
250	-546	-98	0,640	0,590	0,615
500	-528	-82	0,820	0,750	0,785
750	-518	-73	0,920	0,840	0,880
1000	-512	-65	0,980	0,920	0,950
1250	-505	-58	1,050	0,990	1,020
1500	-503	-55	1,070	1,020	1,045
1750	-500	-52	1,100	1,050	1,075
2000	-496	-49	1,140	1,080	1,110
2250	-493	-46	1,170	1,110	1,140
2500	-491	-42	1,190	1,150	1,170
2750	-489	-41	1,210	1,160	1,185
3000	-487	-40	1,230	1,170	1,200
3250	-487	-40	1,230	1,170	1,200
3500	-485	-38	1,250	1,190	1,220
3750	-484	-37	1,260	1,200	1,230
4000	-482	-35	1,280	1,220	1,250
4250	-480	-34	1,300	1,230	1,265
4500	-480	-32	1,300	1,250	1,275
4750	-478	-31	1,320	1,260	1,290
5000	-477	-30	1,330	1,270	1,300
5250	-476	-30	1,340	1,270	1,305
5500	-476	-30	1,340	1,270	1,305
5750	-475	-29	1,350	1,280	1,315
6000	-474	-28	1,360	1,290	1,325
6250	-474	-28	1,360	1,290	1,325
6500	-473	-28	1,370	1,290	1,330
6750	-472	-27	1,380	1,300	1,340
7000	-471	-26	1,390	1,310	1,350
7250	-470	-24	1,400	1,330	1,365
7500	-470	-25	1,400	1,320	1,360
7750	-470	-25	1,400	1,320	1,360
8000	-470	-25	1,400	1,320	1,360
8250	-469	-24	1,410	1,330	1,370
8500	-468	-23	1,420	1,340	1,380
8750	-468	-23	1,420	1,340	1,380
9000	-468	-23	1,420	1,340	1,380
9250	-467	-23	1,430	1,340	1,385
9500	-466	-21	1,440	1,360	1,400
9750	-466	-22	1,440	1,350	1,395
10000	-466	-22	1,440	1,350	1,395



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech (mm)	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech (mm)	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,33	1,44	0,11
2	1,27	1,35	0,08
průměr	1,30	1,40	0,10
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR} (mm)			0,019
PRD_{AIR} (%)			2,2

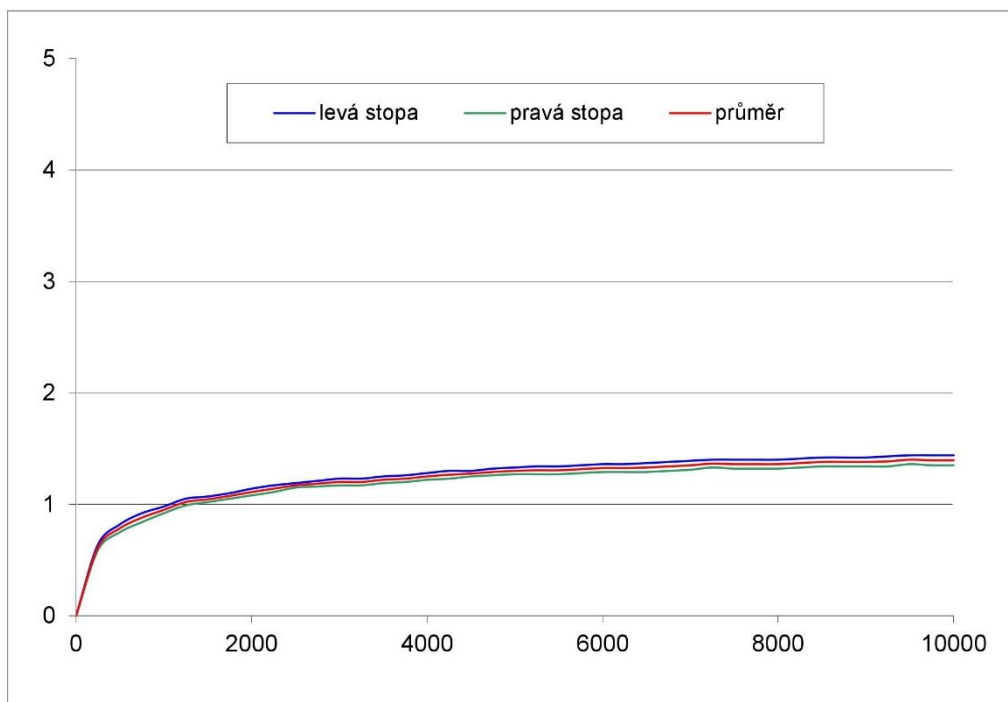
Příloha č. 6 - Výsledky zkoušky stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací pro směs R

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - Směs C

provedeno dle ČSN EN 12697-22

teplota zkoušky (50°C)	50	Tloušťka desky 1 (mm)	60,31
průměrná tloušťka (mm)	60,28	Tloušťka desky 2 (mm)	60,24

Č.CYKLU	L1(0,1mm)	L2(0,1mm)	Měřená deformace L1 (mm)	Měřená deformace L2 (mm)	Průměrná deformace (mm)
0	-668	-313	0,000	0,000	0,000
250	-605	-229	0,630	0,840	0,735
500	-586	-209	0,820	1,040	0,930
750	-576	-198	0,920	1,150	1,035
1000	-571	-192	0,970	1,210	1,090
1250	-565	-186	1,030	1,270	1,150
1500	-561	-182	1,070	1,310	1,190
1750	-557	-178	1,110	1,350	1,230
2000	-555	-176	1,130	1,370	1,250
2250	-550	-173	1,180	1,400	1,290
2500	-549	-171	1,190	1,420	1,305
2750	-547	-170	1,210	1,430	1,320
3000	-544	-168	1,240	1,450	1,345
3250	-542	-167	1,260	1,460	1,360
3500	-540	-166	1,280	1,470	1,375
3750	-539	-165	1,290	1,480	1,385
4000	-537	-164	1,310	1,490	1,400
4250	-537	-162	1,310	1,510	1,410
4500	-534	-162	1,340	1,510	1,425
4750	-534	-161	1,340	1,520	1,430
5000	-533	-161	1,350	1,520	1,435
5250	-532	-160	1,360	1,530	1,445
5500	-531	-160	1,370	1,530	1,450
5750	-531	-159	1,370	1,540	1,455
6000	-529	-158	1,390	1,550	1,470
6250	-529	-158	1,390	1,550	1,470
6500	-528	-158	1,400	1,550	1,475
6750	-527	-156	1,410	1,570	1,490
7000	-526	-157	1,420	1,560	1,490
7250	-526	-156	1,420	1,570	1,495
7500	-526	-156	1,420	1,570	1,495
7750	-525	-156	1,430	1,570	1,500
8000	-525	-155	1,430	1,580	1,505
8250	-524	-155	1,440	1,580	1,510
8500	-523	-155	1,450	1,580	1,515
8750	-523	-155	1,450	1,580	1,515
9000	-522	-155	1,460	1,580	1,520
9250	-521	-154	1,470	1,590	1,530
9500	-522	-154	1,460	1,590	1,525
9750	-521	-154	1,470	1,590	1,530
10000	-521	-153	1,470	1,600	1,535



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech (mm)	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech (mm)	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,35	1,47	0,12
2	1,52	1,60	0,08
průměr	1,44	1,54	0,10
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR} (mm)			0,02
PRD_{AIR} (%)			2,4

Příloha č. 7 – Výsledky zkoušky stanovení pevnosti v příčném tahu a odolnosti vůči vodě a mrazu.

Aplikované cykly zkoušky	Asfaltová směs	Označení tělesa	Průměr (mm)	Výška(mm)	Maximální síla(kN)	Deformace(mm)	Pevnost tělesa v příčném tahu ITS (MPa)	Průměr suchých těle ITSd (MPa)	Průměr mokrých těle ITS _w (Mpa)
Na vzduchu při laboratorní teplotě	Směs R	R13	101,6	60,6	22,16	2,21	2,291	2,200	X
		R14	101,4	61,3	22,80	2,73	2,338		
		R15	101,2	61,7	19,30	2,93	1,969		
	Směs C	C13	100,9	63,1	15,55	2,15	1,556	1,732	
		C14	101,4	62,2	18,03	2,30	1,821		
		C15	101,7	60,7	17,61	1,99	1,818		
Vodní lázeň 40 °C 72h	Směs R	R10	101,7	61,6	19,01	3,12	1,933	X	
		R11	101,7	61,5	17,61	4,43	1,793		
		R12	101,9	60,7	18,01	3,23	1,854		
	Směs C	C7	102,2	60,9	10,61	2,39	1,085		1,860
		C8	101,1	62,5	11,99	2,21	1,208		
		C9	101,6	63,1	10,72	2,07	1,065		
Vodní lázeň 40 °C 72h + zmrázovací cyklus	Směs R	R7	101,9	60,0	21,55	3,01	2,243	X	
		R8	102,9	58,8	21,62	2,63	2,274		
		R9	102,0	60,2	20,70	2,64	2,146		
	Směs C	C10	101,4	61,8	11,11	2,46	1,129		2,221
		C11	102,8	60,5	13,25	2,73	1,356		
		C12	101,6	61,3	13,73	1,99	1,405		
Výsledné hodnoty směsi								Směs R	Směs C
Pevnost směsi v příčném tahu ITS(MPa)								2,200	1,732
Poměr pevnosti směsi v příčném tahu ITS _R (%)								84,6%	64,7%
Poměr pevnosti směsi v příčném tahu ITS _{Rf} (%)								101,0%	74,9%

Příloha č. 9 – Výsledky zkoušky stanovení pevnosti v tahu za ohybu

Výsledky zkoušky stanovení pevnosti v tahu za ohybu při teplotách 0°C a -10°C													
Typ směsi	Těleso	Rozměry tělesa		Zkušební teplota T	Maximální síla P (kN)	Maximální průhyb γ_s (mm)	Vzdálenost podpor l (mm)	Pevnost v tahu za ohybu		Modul tuhosti v tahu za ohybu		Relativní přetvoření	
		ϕh (mm)	ϕb (mm)					T (°C)	P (kN)	γ_s (mm)	l (mm)	Ri (MPa)	ϕRi (MPa)
C	1C1	60	49,7	0,0	4,02	1,1	250	8,426	9,436	1329,791	1208,125	0,63	0,80
	1C2	60,7	49,3		5,06	1,65		10,446	1086,460	0,96			
R	1R1	60,7	49,7	-10,0	3,46	0,83		7,086	9,516	1464,993	1910,774	0,48	0,50
	1R2	60,7	48,9		5,74	0,87		11,947	2356,556	0,51			
C	4C1	61	50	-10,0	3,68	0,5		7,417	6,577	2533,252	2154,506	0,29	0,31
	4C2	60,1	49,4		2,73	0,56		5,737	1775,760	0,32			
R	4R1	60,9	49	-10,0	2,98	0,46		6,149	7,059	2286,496	2057,905	0,27	0,35
	4R2	60,5	49,5		3,85	0,75		7,968	1829,314	0,44			

Příloha č. 10 – Výsledky zkoušky relaxace asfaltových směsí při teplotě 0 °C

Výsledky zkoušky relaxace asfaltových směsí při 0 °C								
Typ směsi	Těleso	Rozměry tělesa		Zkušební teplota T	Maximální síla při 50mm/min	Maximální průhyb	Vzdálenost podpor	2/3 Maximální síly P
		∅h (mm)	∅b (mm)	T (°C)	P (kN)	Y _s (mm)	l (mm)	P _{2/3} (kN)
C	3C1	60,9	49,7	0,0				
	3C2	59,8	50					
R	3R1	61,6	49,4					
	3R2	60,9	48,7					
C	2C1	60,2	49,7		4,91	1,21	250	3,27
	2C2	60,8	49,3		3,66	1,23		2,44
R	2R1	61,3	49,3		4,17	1,03		2,78
	2R2	60,8	48,9		4,72	0,88		3,15

Síla působící na těleso v závislosti na čase (kN)								
Těleso	0s	15s	30s	60s	2m	3m	5m	10m
3C1	3,08	trámek se zlomil						
3C2	2,46	1,78	1,65	1,51	1,38	1,31	1,20	1,06
3R1	2,73	2,01	1,86	1,68	1,50	1,40	1,24	1,03
3R2	2,89	1,86	1,65	1,44	1,23	1,10	0,96	0,77

Napětí v tahu za ohybu σ (MPa)								
Těleso	0s	15s	30s	60s	2m	3m	5m	10m
3C1	0,11	trámek se zlomil						
3C2	0,08	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
3R1	0,09	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03
3R2	0,10	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03

Relativní relaxační napětí zkušebních těles σ_r (-)								
Těleso	0s	15s	30s	60s	2m	3m	5m	10m
3C1	1,00	trámek se zlomil						
3C2	1,00	0,72	0,67	0,61	0,56	0,53	0,49	0,43
3R1	1,00	0,74	0,68	0,62	0,55	0,51	0,45	0,38
3R2	1,00	0,64	0,57	0,50	0,43	0,38	0,33	0,27

Relativní relaxační napětí vyrobených směsí σ_r (-)								
Směs	0s	15s	30s	60s	2m	3m	5m	10m
C	1,00	0,72	0,67	0,61	0,56	0,53	0,49	0,43
R	1,00	0,69	0,63	0,56	0,49	0,45	0,39	0,32

BIBLIOGRAFICKÉ ÚDAJE

Jméno autora: **Jiří Dymák**

Škola: **České vysoké učení technické, Fakulta stavební**

Obor: **Realizace pozemních a inženýrských staveb**

Zaměření: **Realizace dopravních staveb**

Forma studia: **Prezenční**

Rok: **2017**

Vedoucí práce: **Ing. Petr Mondschein, Ph.D.**

Typ práce: **Bakalářská práce**

Název práce: **Užití pryskyřic v asfaltových směsích**

Počet stran celkem: 99

Počet stran příloh: 14

Počet znaků bez mezer: 99 138

Počet znaků včetně mezer: 115 155