



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra silničních staveb**

Nízkoteplotní asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu

Warm mix asphalt with increased content of reclaimed asphalt

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: Ing. Jan Valentin, Ph.D.

Bc. Monika Chmelíková

Praha 2018



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Chmelíková Jméno: Monika Osobní číslo: 410683
Zadávací katedra: Katedra silničních staveb
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Nízkoteplotní asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu

Název diplomové práce anglicky: Warm mix asphalt with increased content of reclaimed asphalt

Pokyny pro vypracování:

- řešerše v oblasti kombinované technologie nízkoteplotních asfaltových směsí a vyššího podílu R-materiálu v těchto směsích, včetně informací o možných přísadách pro NTAS
- rozbor a příprava zkušebních těles souboru 13 asfaltových směsí typu NTAS (ACL 16+)
- provedení souboru vybraných zkoušek se zaměřením na funkční charakteristiky (tuhost, trvalé deformace, odolnost proti šíření trhlin, trvanlivost asfaltové směsi)
- laboratorní simulace dlouhodobého stárnutí a studium vlivu tohoto jevu na vybrané charakteristiky
- souhrnné zpracování analýzy dat doplněné o poznatky zpracovatelnosti

Seznam doporučené literatury:

- technické normy a TP vztahující se k uvedené problematice
- Partl, M. et al.: Advances in Interlaboratory Testing and Evaluation of Bituminous Materials
- odborné články a výzkumné zprávy dle průběžného upřesnění vedoucím diplomové práce

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jan Valentin, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 02.10.2017 Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2018

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 diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.

2. 10. 2017

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)



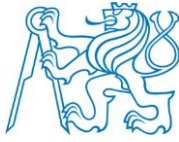
Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou prací zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Praze dne

.....

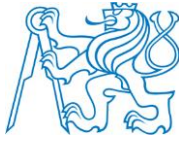
Bc. Monika Chmelíková



ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb
Nízkoteplotní asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Janu Valentinovi Ph.D., za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce. Mé poděkování patří také všem zaměstnancům školní laboratoře za spolupráci a ochotu kdykoli pomoci.



Abstrakt

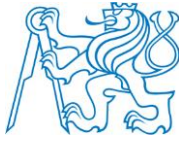
Diplomová práce je zaměřena na problematiku nízkoteplotních asfaltových směsí s vyšším obsahem R-materiálu. Text práce je rozdělen do dvou základních částí.

První z nich, rešeršní část, je dále členěna do tří hlavních kapitol. První kapitola je zaměřena na rozbor a shrnutí poznatků o nízkoteplotních asfaltových směsích, jako je historie jejich používání, seznámení se základními technickými předpisy, informace o používaných technologiích, výhody a nevýhody jejich použití a nechybí ani zkušenosti s používáním tohoto typu asfaltových směsí v zahraničí. Druhá hlavní kapitola rešeršní části pojednává o asfaltových směsích s podílem R-materiálu. Zde je popsán způsob získání R-materiálu, jeho značení a použití v konstrukci vozovky. Dále jsou popsány základní způsoby recyklace, princip použití rejuvenátorů a shrnuty výhody a nevýhody asfaltové směsi s podílem R-materiálu. Třetí hlavní kapitola rešeršní části propojuje předchozí dvě kapitoly a pojednává o nízkoteplotních asfaltových směsích s obsahem R-materiálu. Závěr rešeršní části patří popisu vybraných zkušebních úseků, provedených výše popsanými technologiemi v České republice.

Druhá, praktická část, je věnována porovnání třinácti předem stanovených variant nízkoteplotní asfaltové směsi typu ACL 16 +. Jednotlivé varianty byly navrženy se stejnou čarou zmitosti a stejným množstvím asfaltového pojiva a lišily se v množství přidávaného R-materiálu, v gradaci použitého asfaltového pojiva a v aplikaci různých přidávaných nízkoteplotních přísad. Potřebné množství asfaltových směsí pro účely laboratorních zkoušek bylo odebíráno přímo během pokládky. Z těchto odebraných směsí byla vyrobena zkušební tělesa hutněna Marshallovým pěchem a zkušební desky hutněné lamelovým zhutňovačem. V rámci této diplomové práce byly na těchto zkušebních tělesech následně prováděny a vyhodnoceny tyto zkoušky: stanovení pevnosti v příčném tahu a stanovení odolnosti asfaltové směsi proti účinkům vody a mrazu, stanovení modulu tuhosti, stanovení odolnosti proti šíření mrazové trhliny a stanovení odolnosti proti trvalým deformacím. Pro některá zkušební tělesa bylo rovněž simulováno stárnutí.

Klíčová slova

Nízkoteplotní asfaltová směs, nízkoteplotní přísady, zpěněný asfalt, R-materiál, rejuvenátor



Abstract

This diploma thesis is focused on warm mix asphalts with increased content of reclaimed asphalt. The text is divided into two basic parts.

The first, research review part, is further divided into three main chapters. The first chapter is focused on researching and summarization the knowledge of warm mix asphalt mixtures, such as the history of their use, introduction to the basic technical standards, information about the technologies mostly used, the advantages and disadvantages of their use and the experience with the use of this type of asphalt mixtures abroad. The second chapter of the research review part deals with asphalt mixtures with reclaimed asphalt content. The way of getting the reclaimed asphalt, its marking and its use in road construction is described here. Then the basic methods of recycling are described including the use of rejuvenators. Advantages and disadvantages of the use of asphalt mixtures with reclaimed asphalt content are discussed as well. The third main chapter is connecting two previous chapters by dealing with warm mix asphalt mixtures containing the reclaimed asphalt. The conclusion of the research review part is dedicated to introduction of the representative test sections made by the above-described technologies in the Czech Republic.

The second, practical part of the diploma thesis is focused on the comparison of thirteen variants of ACL 16 + warm mix asphalt. These variants were designed with the same grain-size curve and the same amount of bitumen binder and varied in the amount of reclaimed asphalt added, the gradation of the bitumen binder used and in the application of the various warm mix additives added. The required amount of asphalt mixtures for the purpose of laboratory testing was taken directly during paving. From these mixtures, the testing specimens were compacted by using the Marshall impact compactor and the testing plates compacted by using the lamellar compactor. In this diploma thesis, the following characteristics were tested: indirect tensile strength and determination of the water sensitivity asphalt specimens, determination of stiffness modulus by IT-CY, crack propagation applying semi-circular bending test and wheel tracking test. For some of the test specimens aging was simulated.

Key words

Warm mix asphalt, warm mix additives, foamed asphalt, reclaimed asphalt, rejuvenator



Obsah

Rešeršní část	10
1 Úvod	10
2 Nízkoteplotní asfaltové směsi (NTAS)	10
2.1 Historie používání NTAS	11
2.2 Technické předpisy pro NTAS v ČR	11
2.3 Používané technologie	12
2.3.1 Organické přísady	12
2.3.2 Chemické přísady	14
2.3.3 Technologie na bázi zpěněného asfaltu	14
2.3.3.1 Výhody a nevýhody použití zpěněného asfaltu	17
2.4 Oblast použití NTAS	18
2.5 Výhody NTAS	18
2.6 Nevýhody NTAS	20
2.7 Zkušenosti ze zahraničí	20
2.7.1 USA	21
2.7.2 Francie	21
2.7.3 Švédsko	22
2.7.4 Norsko	22
2.7.5 Dánsko	23
2.7.6 Švýcarsko	23
2.7.7 Maďarsko	24
3 Asfaltové směsi s podílem R-materiálu	24
3.1 R-materiál	24
3.1.1 Získání R-materiálu ze starých vozovek	24
3.1.2 Značení R-materiálu	24
3.1.3 Použití R-materiálu	25
3.2 Druhy recyklace	26
3.2.1 Recyklace za horka na místě	26
3.2.2 Recyklace za studena na místě	27
3.2.3 Recyklace za horka na obalovně	28



3.2.4	Recyklace za studena na obalovně.....	31
3.3	Použití rejuvenátorů	31
3.4	Výhody recyklace vozovek.....	31
3.5	Nevýhody recyklace vozovek.....	32
4	NTAS s podílem R-materiálu.....	32
4.1	Technické předpisy pro NTAS s podílem R-materiálu v ČR	32
5	Vybrané zkušební úseky v ČR	33
5.1.1	Tunelový komplex Blanka, Praha	33
5.1.2	Pokusný úsek Olšovec – Potštát.....	33
5.1.3	II/204 Mrtník – Kaznějov	34
5.1.4	II/235 Terešovská Huť – Terešov a II/233 Prašný Újezd	35
5.1.5	II/227 Žatec – Rakovník	37
5.1.6	II/236 Kačice – Smečno	37
6	Praktická část.....	38
6.1	Úvod	38
6.2	Charakteristika směsí.....	38
6.2.1	Přísady použité v rámci této práce	38
6.2.1.1	DEUREX® E 11 B.....	39
6.2.1.2	INNODUR ® PUR AD	39
6.2.1.3	Sasobit REDUX	39
6.2.1.4	ZycoTherm.....	41
6.2.1.5	PrePhalt SK	41
6.2.1.6	Storflux	41
6.2.1.7	Storbit	41
6.2.1.8	Storelastic.....	42
6.2.2	Shrnutí variant.....	42
6.3	Výroba zkušebních těles	43
6.4	Provedené laboratorní zkoušky.....	44
6.4.1	Volumetrické vlastnosti	45
6.4.1.1	Stanovení objemové hmotnosti	45
6.4.1.2	Stanovení maximální objemové hmotnosti	45
6.4.1.3	Výpočet mezerovitosti.....	45



6.4.1.4	Výsledky volumetrických vlastností	45
6.4.2	Stanovení pevnosti v příčném tahu (ITS)	47
6.4.3	Stanovení odolnosti asfaltové směsi proti účinkům vody (ITSR).....	48
6.4.4	Stanovení odolnosti asfaltové směsi proti účinkům mrazu.....	48
6.4.5	Stanovení modulu tuhosti.....	51
6.4.6	Stanovení odolnosti asfaltové směsi proti šíření mrazové trhliny.....	56
6.4.7	Stanovení odolnosti proti trvalým deformacím.....	63
Závěr.....		67
Seznam použité literatury.....		69
Seznam obrázků		72
Seznam tabulek		73
Seznam grafů.....		74
Seznam příloh		74



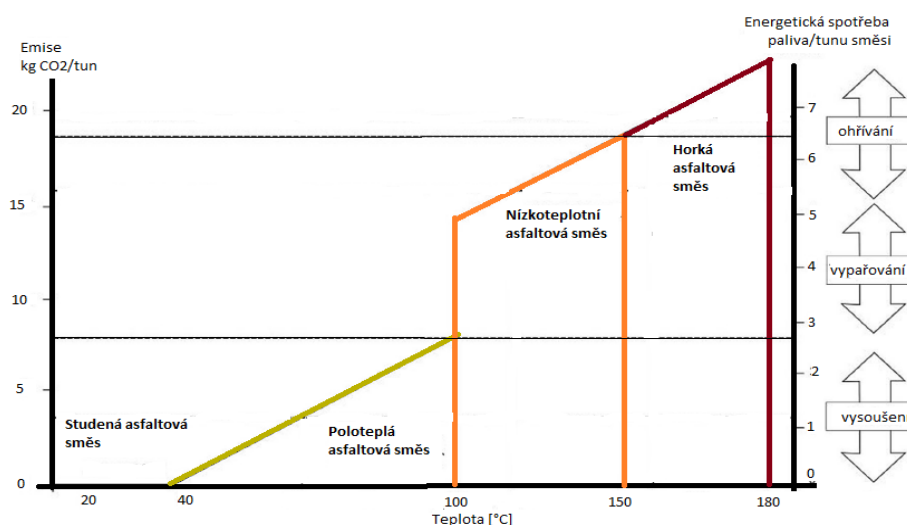
Rešeršní část

1 Úvod

Jedním z nejdůležitějších společenských konceptů dnešní doby je „trvale udržitelný rozvoj“, tedy takový rozvoj lidské společnosti, který uvádí v soulad ekonomický a společenský pokrok s plnohodnotným zachováním životního prostředí. Dle [1] jde o takový způsob rozvoje, který uspokojuje potřeby přítomnosti, aniž by oslaboval možnosti budoucích generací naplňovat jejich vlastní potřeby. Když se zaměříme konkrétně na oblast výstavby asfaltových vozovek pozemních komunikací, je trvale udržitelný rozvoj reprezentován snížením emisí při výrobě a zpracování asfaltové směsi, omezením spotřeby energie při výstavbě a použitím co největšího podílu původního materiálu. Mezi technologie asfaltových směsí jdoucí ruku v ruce s trendem trvale udržitelného rozvoje patří použití recyklovaného materiálu z vozovek, umožňující snížení spotřeby ropy jako hlavní složky asfaltového pojiva. Další možností je využití nových technologií výroby, založených na snižování pracovních teplot a tím i snižování emisí, jejichž koncentrace závisí právě na teplotě asfaltové směsi. Z výše uvedeného vyplývá, že nejlepší cestou, jak dosáhnout trvale udržitelného rozvoje, je použití nízkoteplotních asfaltových směsí s obsahem R-materiálu. [2]

2 Nízkoteplotní asfaltové směsi (NTAS)

Snižování pracovních teplot při výrobě a zpracování asfaltové směsi je trendem již řadu let. Motivací je zejména snaha omezit energetickou náročnost výroby asfaltových směsí, snížit produkci skleníkových plynů a ostatních emisí při výrobě a zpracování asfaltové směsi, včetně uvolňování výparů a aerosolů z asfaltového pojiva při jeho zpracování za horka. V důsledku závazných ujednání Kjótského protokolu z roku 1997 a globální klimatické dohody, podepsané v Paříži v roce 2015, představuje ochrana životního prostředí a aspekty ochrany zdraví pracovníků stále větší motivaci pro hledání nových technologií výroby a zpracování asfaltových pojiv. Již několik let patří nízkoteplotní asfaltové směsi a s nimi související nízkoviskózní asfaltová pojiva k rozvíjejícím se trendům silničního stavitelství. [3] [4]



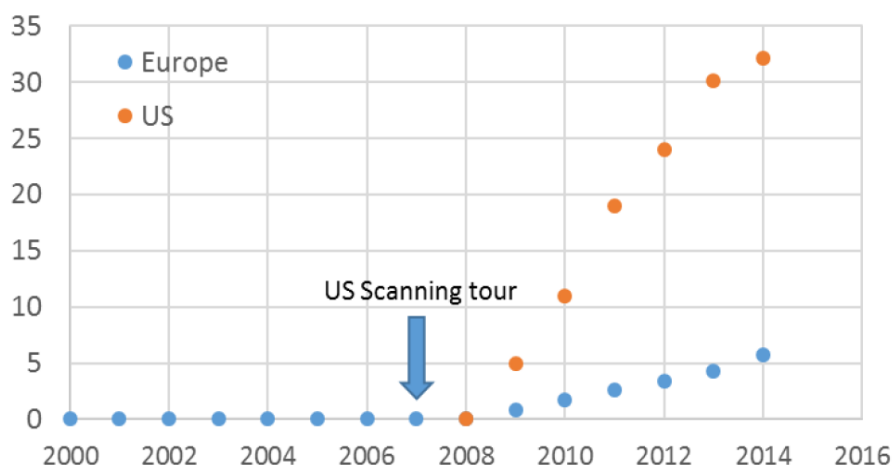
Obrázek 1: Klasifikace asfaltových technologií na základě výrobní teploty [5]



2.1 Historie používání NTAS

Problematika snížení pracovních teplot asfaltových směsí se začala řešit již mezi sedmdesátými a devadesátými lety minulého století a to zejména u směsí litého asfaltu, který se s ohledem ke složení vlastní směsi vyznačuje potřebou pracovních teplot přesahujících při výrobě a zpracování hodnoty 250 °C. Pozornost k této oblasti se dále zvýšila v souvislosti s dřívějším používáním dehtových pojiv, u kterých bylo postupně identifikováno značné riziko uvolňování škodlivých (karcinogenních) látek, jež potenciálně mohly vést při dlouhodobé expozici ke vzniku některých nádorových onemocnění. Ačkoli byla dehtová pojiva postupně v uplynulých dvaceti letech zakázána, obavy o zvýšené škodlivosti a negativních vlivech na zdraví zůstaly, a proto se intenzivně začaly hledat cesty, jak docílit snížení pracovních teplot.

V důsledku Kjótského protokolu z roku 1997 čelily všechny země Evropské unie požadavkům na snižování emisí skleníkových plynů. První koncept snížení teploty asfaltových směsí navrhla Německá platforma pro asfaltová pojiva (German bitumen forum) a v roce 1997 byla v německém Hamburku provedena první vozovka z asfaltové směsi hutněné při nižší teplotě s využitím přísady Fisher-Tropschova parafínu Sasobit a postupně vznikalo mnoho dalších zkušebních úseků. Všeobecně první pokládky NTAS byly aplikovány koncem 90. let minulého století, a to výlučně jen v Evropě. V Německu se používaly nízkoteplotní přísady, zatímco v Norsku byl v roce 1999 vyvinut proces WAM-Foam®. Teprve v roce 2002 se nízkoteplotní asfaltové směsi dostaly do povědomí v USA. První zkušební úsek v USA byl dokončen v roce 2004 na Floridě a v Severní Karolíně. Od roku 2009 dochází v USA k výraznému nárůstu používání technologie NTAS, zatímco v Evropě, kde byla tato technologie vymyšlena, je nárůst velice pomalý, jak je patrné z obrázku 2. V roce 2014 šlo v USA již o více než 30 % celkové produkce asfaltových směsí, zatímco v Evropě jsme na pouhých 5 %. [3] [6] [5]



Obrázek 2: Produkce NTAS v Evropě a USA [5]

2.2 Technické předpisy pro NTAS v ČR

V České republice upravují použití nízkoteplotních asfaltových směsí technické podmínky TP 238 – *Nízkoteplotní asfaltové směsi*, s účinností od ledna 2012, které vymezují návrh, výrobu, dopravu, pokládku, kontrolu a zkoušení nízkoteplotních



asfaltových směsí. Ke zpracování těchto technických podmínek vedl rozsáhlý laboratorní výzkum nízkoteplotních asfaltových směsí na ČVUT v Praze a VUT v Brně.

Upravená pojiva, díky kterým je nejčastěji možné vyrábět směs při snížené teplotě, se ve smyslu technických podmínek označují původním označením pojiv s přidáním písmen „NV“ (nízkoviskózní), např. ACL 16 50/70 NV; 60 mm. V případě, že jsou přísady aplikovány přímo při výrobě asfaltové směsi, uplatní se označení „NT“ (nízkoteplotní), např. ACL 16 50/70 NT; 60 mm. [4]

2.3 Používané technologie

Na trhu existuje celá řada technologií, které se používají při výrobě NTAS. Zvláště v posledních 10 letech došlo k výraznému nárůstu nových přísad a technologií. Jednou z možností je snížení viskozity asfaltového pojiva pomocí organických přísad (nejčastěji vosků), díky kterému dochází k dostatečnému obalení kameniva a následně je umožněno hutnění při nižších teplotách. Další možností jsou různé chemické přísady, upravující povrchové vlastnosti kameniva, čímž ovlivňují přilnavost asfaltového pojiva ke kamenivu. Nejvyšší zastoupení v oblasti technologií NTAS však má postup využívající zpěněný asfalt. Obecně lze tedy technologie NTAS rozdělit do tří kategorií:

2.3.1 Organické přísady

Jedná se o látky, které při zahřátí mění skupenství z pevného na kapalné a snižují viskozitu asfaltového pojiva. Z tohoto důvodu se většinou jedná o krystalické vosky. Zároveň umožňují změnit reologické vlastnosti asfaltových pojiv. Způsob působení ztekucovací přísady je založen na vratné funkci rozpuštění a krystalizaci těchto vosků. Použitím organických přísad dochází ke snížení pracovních teplot obvykle o 20-30 °C a zároveň se zlepšují deformační vlastnosti asfaltové směsi. Organické přísady mohou být dávkovány přímo na obalovně do směsi při výrobě, nebo do asfaltového pojiva. Dle svého původu lze organické přísady rozdělit do následujících dvou skupin, [6] [5] [7]:

- **Syntetické vosky.** Všeobecně platí, že vosky kvůli svým hydrofobním vlastnostem mírně zhoršují adhezní vlastnosti pojiva, což se negativně projevuje zejména u kameniva, které není při skladování zakryté a může navlhnout. Mezi syntetické vosky patří montánní vosky, Fischer-Tropschovy parafíny, amidové vosky a různé polyethylenové, polypropylenové a další vosky. [5]

Montánní vosky. Jedná se o tvrdé fosilní vosky, jejichž původ lze hledat u subtropických rostlin terciéru. Jsou tvořeny sloučeninami derivátů mastných organických kyselin s dlouhými uhlovodíkovými řetězci a parafínových alkoholů. Získávají se extrakcí určitých typů lignitů a hnědého uhlí. Bod měknutí montánních vosků se pohybuje v intervalu 80-125 °C. Zpracovatelnost při teplotách nižších než 130 °C je horší, což je důvodem pro použití zejména v oblasti litých asfaltů. Běžně se dávkuje v množství 2-3 % hmotnosti asfaltového pojiva. Typickými zástupci jsou Hostamont, Romonta N, Asphaltan A nebo B. [8]

Fischer-Tropschovy (FT) parafíny. Po chemické stránce se jedná o dlouhé řetězce alifatických uhlovodíků, které se získávají při Fischer-Tropschově syntéze zkapalnění uhlí. Bod měknutí FT parafínů leží v rozmezí 80-120 °C. Ve spojení s



asfaltovými částicemi vytváří parafín síťovou strukturu, která má ztužující charakter. Použitím FT parafínů je umožněna zpracovatelnost běžných asfaltových směsí při teplotách 130-140 °C a hutnit lze až do teploty 90 °C. Běžně se dávkuje v množství 3-4 % hmotnosti asfaltového pojiva. Typickým zástupcem je Sasobit a Sasobit REDUX společnosti Sasol nebo vosky Deurex řady T. [8]

Amidové vosky. Fungují na podobné bázi jako montánní vosky. Jde o synteticky vyrobené látky na bázi mastných kyselin, s dlouhými uhlovodíkovými řetězci, které vznikají syntézou. Při teplotách nad 140 °C se zcela rozpouštějí v asfaltovém pojivu a mícháním se homogenizují s výchozím asfaltem. Slouží ke snížení viskozity asfaltových pojiv a stejně jako v případě FT parafínů dochází při ochlazení ke krystalizaci a zvyšování stability a odolnosti proti vzniku trvalých deformací. Dle praktických poznatků lze hutnit asfaltovou směs s vosky na bázi amidů mastných kyselin až do teploty 95 °C. Amidové vosky se přidávají v podobě prášku či granulí do asfaltové směsi společně s pojivem, přičemž optimální množství dávkování je přibližně 3 % hm. asfaltového pojiva. Zástupcem v této kategorii je např. ztekuovací přísada Licomont BS 100, vosky Deurex řady A nebo INNODUR® PUR AD. [8]

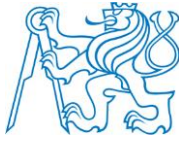


Obrázek 3: Syntetické vosky - montánní vosk Romonta [9], FT parafín Sasobit [10], amidový vosk Deurex [11]

- **Přírodní nebo hybridní vosky.** Získávají se například z odpadu při zpracování cukrové třtiny (bio produkty). Výrobce takového typu vosk je např. společnost Deurex, která nabízí vosky Deurex řady X. Tyto vosky jsou dodávány ve formě prášku, granulí, popřípadě odlomků (obrázek 4). Jedná se buď o čistě přírodní vosk nebo častěji hybridní vosk, kdy je přírodní složka kombinována se syntetickou, [11] [5].



Obrázek 4: Různé formy přírodních vosků [11]



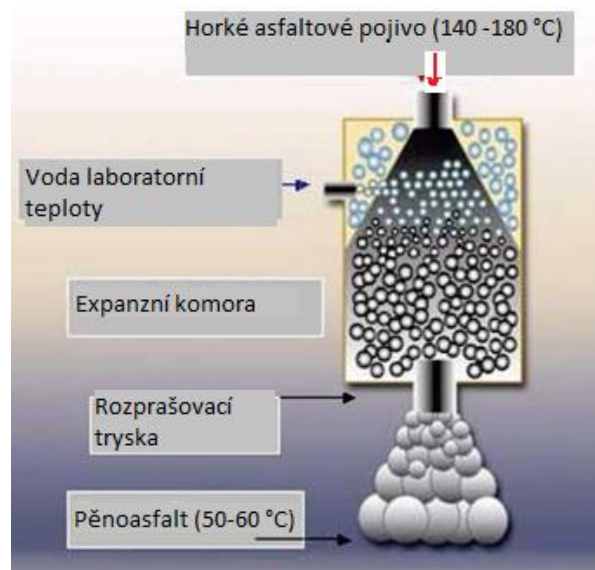
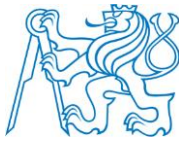
2.3.2 Chemické přísady

Chemické přísady do nízkoteplotních směsí výrazně neovlivňují viskozitu asfaltového pojiva, ani další reologické vlastnosti. V mikroskopickém měřítku upravují povrchové vlastnosti kameniva, čímž ovlivňující přilnavost, smáčitelnost povrchu zrn kameniva a vnitřní tření, resp. povrchovou aktivitu mezi kamenivem a asfaltovým pojivem, zejména v rozmezí teplot 85-140 °C. To následně umožňuje míchání a hutnění asfaltové směsi při nižších teplotách. Chemické přísady se dávkuje v množství okolo 0,4 % celkové hmotnosti asfaltového pojiva a umožňují snížení teploty směsi a hutnění o 20-40 °C. Zástupci této skupiny přísad pro NTAS jsou: Rediset WMX, Evotherm MA 3, Iterlow, CECA Base (aplikuje se přímo do asfaltové směsi) a Zycotherm (nano-technologická přísada). [5] [7] [12]

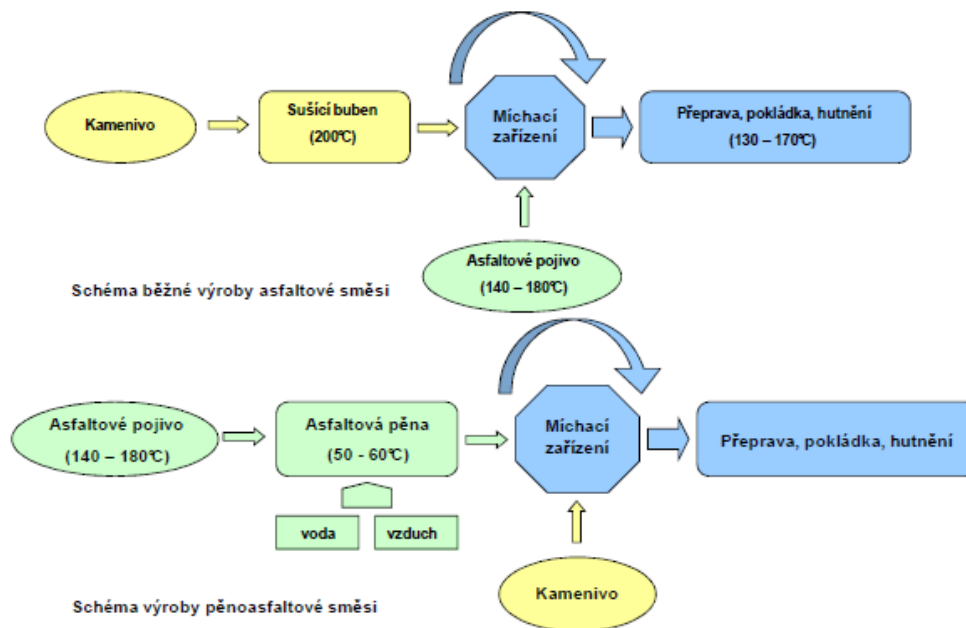
2.3.3 Technologie na bázi zpěněného asfaltu

Technologie využívající zpěněný asfalt mají v oblasti NTAS největší zastoupení (přínejmenším z pohledu rozsahu uplatnění například v USA). Existuje široká škála pěnových technologií ke snížení viskozity asfaltové směsi. Všechny metody využívají malé množství vody, která se dávkuje do horkého asfaltového pojiva. Voda pod vlivem vysoké teploty změní své skupenství na páru, zvětší několikanásobně vlastní objem a tím i objem pojiva a na krátký časový interval sníží jeho viskozitu. Tato expanze asfaltového pojiva umožňuje lépe obalit kamenivo i při nižších teplotách a zbytková vlhkost zlepšuje zhutnitelnost asfaltové směsi. Jak již bylo zmíněno výše, existuje několik technologií pro výrobu zpěněného asfaltu (asfaltové pěny). [7] [13]

- **Klasická metoda s využitím vstříkovací pěnové trysky.** Při použití vstříkovacích pěnových trysek je malé přesně stanovené množství (2,0-5,0 %-hm.) demineralizované vody bez jakýchkoli chemických přísad o teplotě 15-25 °C vstříknuto pod tlakem 4-5 bar společně se vzduchem pod tlakem 0-10 bar do horkého asfaltového pojiva o teplotě 170-190 °C. Následně dojde k již zmíněnému efektu. Kvalita takto vytvořené asfaltové pěny je charakterizována expanzním poměrem (ER). Ten udává poměr maximálního dosaženého objemu pěny a objemu původního asfaltového pojiva. Expanzní poměr by u kvalitní pěny měl přesáhnout hodnotu 10. Druhým sledovaným faktorem asfaltové pěny je poločas usazení pěny ($\tau_{1/2}$). Udává hodnotu času ve vteřinách, během které se sníží objem asfaltové pěny o 50 % z jejího maxima. Čím delší je poločas usazení pěny, tím kvalitnější je asfaltová pěna. Poločas usazení by měl být větší než 10 vteřin (u kvalitní pěny více než 15 vteřin). Tyto sledované charakteristiky jsou značně ovlivněny řadou faktorů, zejména pak druhem a původem použitého asfaltového pojiva, teplotou horkého asfaltového pojiva i množstvím vzduchu a tlaku, kterým je voda do pojiva vstříkována. Důležitou roli tvoří podmínky, při kterých se pěna vytváří. Jedná se o teplotu, vlhkost a tlak vzduchu. Jako pojivo pro výrobu asfaltové pěny lze použít pouze nemodifikované silniční asfalty, přičemž je doporučeno volit asfaltové pojivo gradace 70/100 a 160/200. Tato technologie umožňuje snížit pracovní teplotu asfaltové směsi o 20 až 40 °C, čímž dojde k úspoře energie o 20-30 % a přibližně podobné hodnotě snížení emise CO₂. [7] [13] [14] [3]



Obrázek 5: Schéma výroby zpěněného asfaltu [7] [5]



Obrázek 6: Porovnání výroby běžné asfaltové směsi a pěnoasfaltové směsi [8]

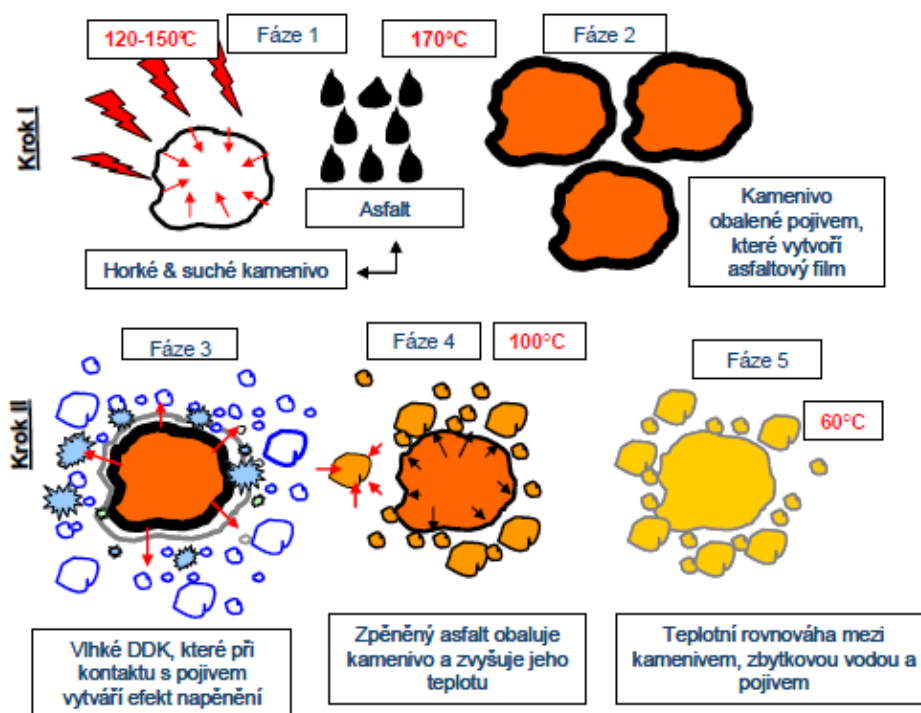
Na obrázku 6 je znázorněno porovnání výroby běžné asfaltové směsi a pěnoasfaltové směsi. Zatímco při výrobě běžné asfaltové směsi se přidává asfaltové pojivo ke kamenivu, u výroby zpěněného asfaltu je tomu přesně naopak, kamenivo se přidává do asfaltové pěny.

- **Asfaltová pěnoemulze.** Tato technologie využívá procesu ohřátí vhodného speciálního typu asfaltové emulze na úroveň teploty 100 °C, v jehož důsledku dochází díky dosažení bodu varu vody k přeměně emulze na asfaltovou pěnu, která se následně obdobným způsobem jako v případě technologie zpěněných asfaltů obaluje s kamenivem nebo R-materiálem. Při aplikaci kameniva by mělo docházet k jeho předeřtání na úroveň 100-120 °C. Použitá asfaltová emulze obsahuje přísady, které snižují riziko zhoršené kvality obalení kameniva, pokud se u něho vyskytuje



zbytková vlhkost. Díky snížené teplotě pro výrobu pěny dochází též k redukci rizika nadměrné oxidace pojiva. [3]

- **Technologie WAM Foam®.** Technologie WAM-Foam® (*Warm Asphalt Mix Foam Bitumen*) je patentovaný proces založený na míchání kameniva obaleného měkkým asfaltem a asfaltové pěny z tvrdšího asfaltového pojiva. Tato technologie doznala výraznějšího rozvoje a úspěchu již v průběhu devadesátých let 20. století v Norsku, Velké Británii nebo v Nizozemí. Technologie WAM-Foam® umožňuje podstatně větší snížení výrobních teplot ve srovnání s jinými pěnovými technologiemi, úsporu energie v rozsahu cca 20-40 % a snížení emisí CO₂ o 20-30 %, avšak pro správný výsledek je nutná vysoká technologická kázeň a přesné dodržení výrobního postupu. [3] [5] [2]
- **Směs EBE®.** Nízkoenergetická směs EBE® rozvíjená ve Francii využívá schopnosti asfaltového pojiva v oblasti pění a emulgovatelnosti v kombinaci s přidáváním nevysušeného (vlhkého) fileru při výrobě směsi. Podstatou této technologie je postupné dávkování studeného a vlhkého drobného kameniva do směsi společně s filerem a předobaleným drobným kamenivem o teplotě 130 °C. Čerstvě vyrobená směs má teplotu cca 90 °C. Následně dochází k pokládce směsi finišerem a k hutnění válci, přičemž při pokládce se předpokládá pracovní teplota 70 °C. Úspora energie a redukce emisí CO₂ se v tomto případě předpokládá cca -35 %, současně se však uvádí i míra snížení prašnosti, která dosahuje až 88 %. [3] [5]
- **Směs EBT.** Nízkoteplotní asfaltové směsi EBT vyvinuté ve Francii se vyrábějí na obalovně při teplotě přibližně 90 °C, přičemž i tato technologie je založena na principu použití částečně vlhkého kameniva a aplikaci některých aditiv. Nejznámější je v tomto ohledu technologie označovaná jako LEA® (*Low Energy Asphalt*), jejíž postup výroby je znázorněn na obrázku 7. Nejprve je vysušeno a na požadovanou teplotu 120 až 150 °C nahřáto hrubé kamenivo, které tvoří kolem 80 % z celkového množství kameniva. Poté je obaleno horkým asfaltovým pojivem (170 °C), na povrchu kameniva se tak vytvoří silný asfaltový film. V další fázi se do směsi přidají zbývající jemné frakce kameniva nebo R-materiálu, které nejsou vysušené ani zahřáté. Vlhkost obsažená v tomto kamenivu vytvoří při styku s obalovým hrubým kamenivem efekt napěnění. To má za následek snadné obalení studeného a vlhkého kameniva či R-materiálu. Výsledná směs, po vyrovnání teplot mezi všemi složkami, má teplotu kolem 60 °C. Takto vyprodukovaná směs může ušetřit až 50 % energetické spotřeby oproti běžným směsím prováděným za horka. [13] [7]



Obrázek 7: Postup výroby LEA směsi [8]

- **Použití přísad.** Nejběžněji jsou využívány hydrofilní minerály ze skupiny zeolitů. Zeolity jsou hlinito-křemičité minerály s mikroporézní strukturou. [15] Tato struktura jim umožňuje do jejich pórů zachytávat látky různých skupenství, zejména pak krystalickou vodu v množství kolem 20 %. Ta se uvolňuje při teplotách vyšších než 100 °C. V asfaltovém pojivu při vyšších teplotách pak vytváří tato krystalická voda asfaltovou pěnu. Výsledná pěnoasfaltová směs umožňuje prodloužení zpracovatelnosti o 6 až 7 hodin, nebo do té doby, než teplota směsi klesne pod 100 °C. Tato technika umožňuje rovněž snížení pracovních teplot o 20 až 40 °C. Speciální syntetický zeolit pro asfaltové směsi se označuje Aspha-Min® nebo Advera®. [7] [13]



Obrázek 8: Přírodní kámen zeolit [16]

2.3.3.1 Výhody a nevýhody použití zpěněného asfaltu

Hlavní výhodou při použití technologie zpěněného asfaltu je použití standardních asfaltových pojiv, kdy nejsou nutné žádné další přísady, čímž dochází ke snížení negativních vlivů na životní prostředí. Tato technologie se dále vyznačuje nižšími



výrobními náklady vzhledem ke snížení spotřeby asfaltových pojiv. Asfaltová pěna má totiž v porovnání s asfaltovým pojivem či emulzí mnohem větší povrch a povrchové napětí, což umožňuje dostatečné obalení zrn kameniva s menším množstvím asfaltu a současně je možné obalení kameniva za studena či obalení vlhkého kameniva při zachování dostatečné přilnavosti. [14]

Za nevýhodu může být považován požadavek na směs kameniva či R-materiálu, která musí mít dostatečný podíl jemných částic (minimálně 5-15 % propadne sítem 0,075 mm) a zároveň nutnost dodávky horkého asfaltového pojiva. Z vizuálního hlediska počáteční hnědošedý vzhled způsobený relativní vlhkostí směsi může vzbuzovat dojem nekvalitně provedené technologie. Co se týče přípravy zkušebních těles pro laboratorní ověření vlastností pěnoasfaltových směsí, nebyla dosud stanovena či doporučena jednotná metoda. [14]

2.4 Oblast použití NTAS

Uplatnění nízkoteplotních asfaltových směsí v konstrukci vozovky se řídí vždy podmínkami zvoleného výchozího typu asfaltové směsi. Obecně mohou být používány pro obrusné, ložní i podkladní vrstvy vozovek všech tříd dopravního zatížení v tloušťkách obvyklých pro daný typ zvolené asfaltové směsi a konstrukční vrstvy. Kromě obvyklých aplikací asfaltových směsí silničního stavitelství lze tento postup účelně využít zejména pro:

- asfaltové směsi používané ve vnitřních prostorách a v tunelech (snížení emisí);
- provádění ochranných vrstev izolace a krytů na mostech;
- zpevněné letištní a jiné dopravní plochy s požadavky na urychlené uvedení do provozu (např. vzletové a přistávací dráhy);
- dopravní a průmyslové plochy s extrémním zatížením;
- stavební práce prováděné při zhoršených povětrnostních podmínkách (nevhodná roční období). [4]

2.5 Výhody NTAS

Nejdůležitějším přínosem použití nízkoteplotní asfaltové směsi je výrazné snížení asfaltových výparů během pokládky v porovnání s klasickými horkými asfalty, čímž dochází ke zlepšení pracovních podmínek. Dochází také ke snížení emisí CO₂ a dalších skleníkových plynů, což je velmi přínosné pro ochranu životního prostředí. Významný přínos má použití NTAS i v oblasti výroby a pokládky asfaltové směsi. Nižší teplota je rovněž šetrnější k zdegradovanému pojivu v případě použití R-materiálu. Obecně se výhody použití NTAS dají rozdělit do pěti oblastí: [7]

- **Vliv na životní prostředí.** Snížením teploty asfaltové směsi dojde k redukci spotřeby energie až o 20 %, což samozřejmě snižuje i výslednou cenu výroby. Dochází rovněž ke snížení emisí, konkrétně CO₂ o 20-40 %, SO₂ o 20-35 %, oxidu uhelnatého CO o 10-30 % a oxidů dusíku NO_x až o 70 %, což má významný vliv na ochranu životního prostředí.



Obrázek 9: Vliv snížení teploty na množství asfaltových výparů [7]

- **Vliv na pracovníky.** Při použití NTAS vzniká méně asfaltových výparů a zápachu při pokládce. Snížením teploty pokládané asfaltové směsi o 25 °C dojde k redukci emisí asfaltových výparů až o 75 %, jak je patrné z následující tabulky.

Hutněné asfaltové směsi	Běžná asfaltová směs	Nízkoteplotní asfaltová směs
Teplota	160-180 °C	130-140 °C
Řidič finišeru	6,5 mg/m ³	0,4-3,1 mg/m ³
Operátor hladicí lišty	10,4 mg/m ³	0,6-6,9 mg/m ³
Litý asfalt - manuální pokládka	Běžná asfaltová směs	Nízkoteplotní asfaltová směs
Teplota	240-250 °C	205-230 °C
Pracovník pokládající směs	28,9 mg/m ³	0,5-8,6 mg/m ³
Pracovník hladicí směs	35,8 mg/m ³	0,6-10,8 mg/m ³
Litý asfalt - strojní pokládka	Běžná asfaltová směs	Nízkoteplotní asfaltová směs
Pracovník pokládky	12,3 mg/m ³	1,3-7,8 mg/m ³
Operátor hladicí lišty	12,3 mg/m ³	1,7-11,1 mg/m ³
Pracovník hladicí směs	12,3 mg/m ³	0,5-1,5 mg/m ³

Tabulka 1: Expozice pracovníkům zpracovávajícím běžné a nízkoteplotní asfaltové směsi [3]

- **Vliv na výrobu asfaltové směsi.** Snížením teploty při výrobě a pokládce asfaltové směsi dojde ke zmírnění teplotního stárnutí asfaltového pojiva. Výhodou je rovněž možnost aplikace vyššího množství R-materiálu. [8]
- **Vliv na pokládku asfaltové směsi.** Použitím NTAS je umožněno snížení teplot hutnění v porovnání s tradiční asfaltovou směsí a prodloužení intervalu přepravy a pokládky asfaltové směsi (pokud výroba není provedena při snížené pracovní teplotě). Zároveň je umožněno rychlejší zprovoznění realizovaných úseků vozovek a v neposlední řadě je třeba zmínit možnost pokládky za zhoršených klimatických podmínek, tedy v období chladnějších měsíců nebo při práci v noci (opět pokud výroba není provedena při snížené pracovní teplotě). [5]



- **Vliv na vlastnosti.** U hutněných NTAS se zpravidla zvyšuje odolnost proti vzniku trvalých deformací, současně s tím bylo prokázáno zvýšení hodnoty modulů tuhosti při porovnání s tradičním složením a zvýšení provozní výkonnosti vozovky. [8]

2.6 Nevýhody NTAS

Výše zmíněné výhody musí následně v dostatečné míře obhájit ekonomickou stránku věci. Nelze totiž předpokládat, že cena asfaltových směsí, u kterých dochází k aplikaci různých přísad a které mají vylepšené některé parametry, bude stejná jako v případě tradiční asfaltové směsi. Na druhé straně cenové hledisko nesmí být jediným kritériem, protože v takovém případě bude využívání jakýchkoli inovací vždy brzděno takovým hlediskem a přístupem. V praxi se ukázalo, že je nutné počítat se zvýšením ceny asfaltové směsi přibližně o 5 %.

Další nevýhodou pokládky nízkoteplotní asfaltové směsi je zkrácení času potřebného pro hutnění, pokud se využije možnosti výroby a přepravy při snížené pracovní teplotě. Proto je v případě hutnění nutná důsledná kontrola teploty, aby mohla být garantována požadovaná kvalita. S tím souvisí i zvýšený nárok na technologickou kázeň, která je v řadě případů slabinou staveb.

Z hlediska vlastností asfaltové směsi dochází v některých případech ke zhoršení odolnosti vůči účinkům vody. Navíc snížením teploty nemusí dojít k řádnému vysušení kameniva, zvláště při teplotách míchání okolo 100 °C. Vlhkost pak omezuje adekvátní obalení kameniva pojivem, což může vést k poškození asfaltové směsi. [3] [5]

2.7 Zkušenosti ze zahraničí

Nízkoteplotní asfaltové směsi se postupně stávají v řadě zemí technologiemi s rostoucí uplatnitelností. V tabulce 2 je zobrazeno množství vyrobených NTAS pro vybrané státy. Bohužel v České republice, stejně jako i v řadě dalších evropských zemí nadále zůstává potenciál těchto asfaltových směsí nevyužit nebo se využívá omezeně. Příčiny lze hledat v mnoha oblastech, počínaje nedostatečnou technickou erudicí, přes nedůvěru v nová technická řešení a posuzování veškeré stavební aktivity jen měřítkem nejnižší ceny.

V zahraničí se pro označení nízkoteplotních asfaltových směsí používá zkratka WMA (*warm mix asphalt*). Hlavním rozdílem v porovnání s klasickou směsí vyráběnou za horka (HMA) je snížení teploty výroby a pokládky o 20-40 °C. [5]



Stát	2013	2014	2015	Stát	2013	2014	2015
Rakousko	0,000	0,000	0,000	Norsko	0,380	0,540	0,592
Belgie	-	-	<0,05	Slovensko	-	-	0,014
Chorvatsko	0,000	0,040	0,060	Slovinsko	0,000	0,000	0,000
Česká republika	0,030	0,001	0,020	Španělsko	0,086	0,140	0,140
Dánsko	0,120	0,200	0,200	Švédsko	0,500	0,700	0,700
Estonsko	-	-	0,008	Švýcarsko	0,870	0,388	-
Finsko	0,000	0,120	0,240	Turecko	-	-	0,080
Francie	3,550	4,023	4,552	USA	69,000	103,000	109,000
Velká Británie	<1,000	<1,000	no data	Japonsko	0,152	0,231	0,274
Maďarsko	0,020	0,038	0,070	Kanada	-	0,750	0,900
Lucembursko	0,000	0,007	0,007	Jižní Afrika	0,150	0,150	0,200
Nizozemí	0,060	0,133	0,100				

Tabulka 2: Množství vyrobených nízkoteplotních směsí v milionech tun [17]

2.7.1 USA

Ačkoli jde v případě nízkoteplotních asfaltových směsí o evropský „vynález“, doznávají tyto směsi největšího rozmachu na severoamerickém kontinentu, kde najdeme poměrně pestrou škálu technologií a vzniká zde i řada inovací. Dle údajů EAPA [7] se v roce 2015 v USA vyrobilo více než 100 milionů tun NTAS, tj. cca 30 % celkové produkce asfaltových směsí, přičemž cca v 80 % případů byla použita technologie zpěněného asfaltu. [7] [3]

Na základě poznatků získaných ze Spojených států bylo zjištěno, že NTAS mají pomalejší pokles teploty (vyjádřeno směrnici křivky závislosti teploty na čase) oproti tradičním asfaltovým směsím za horka. Zároveň bylo prokázáno dílčí vylepšení některých charakteristik, kterého je však možno dosáhnout pouze pokud je věnována dostatečná pozornost použitému kamenivu, případně rozdílům v přilnavosti nízkoviskózního asfaltového pojiva ke kamenivu, jakož i eventuální nezbytnosti úpravy čáry zrnitosti a změněného dávkování asfaltového pojiva. [3]

2.7.2 Francie

Z evropských zemí si v oblasti výroby NTAS nejlépe stojí Francie. V roce 2009 zde bylo vydáno doporučení na podporu využívání NTAS. Od tohoto roku se používání NTAS zvýšilo na 7,5 % celkové výroby asfaltových směsí. Navíc se stále častěji kombinuje technologie NTAS s přidáním R-materiálu, což má další přidanou hodnotu z hlediska ochrany životního prostředí. [7] [5]

V roce 2009 byl v Blois ve Francii realizován první zkušební úsek asfaltové směsi, vyrobené s použitím nízkoteplotního asfaltového pojiva upraveného aditivou na zcela přírodní bázi. Toto pojivo nese označení Azalt ECO², bylo vyvinuto společností TOTAL a jeho funkcí není snížení viskozity asfaltové směsi, nýbrž snížení povrchového napětí mezi pojivem a kamenivem, čímž se zlepšuje zpracovatelnost výsledné asfaltové směsi. Zároveň umožňuje snížení teploty při výrobě asfaltové směsi a její pokládce až o 40 °C. Daný zkušební úsek byl zvolen v místě s vysokým podílem těžké nákladní dopravy



a je pravidelně kontrolován. Rozsáhlou škálou laboratorních analýz bylo zjištěno, že vlastnosti asfaltových směsí jsou stejné, v některých parametrech dokonce lepší, co se týče zhutnitelnosti, odolnosti proti tvorbě trvalých deformací a odolnosti proti účinkům vody, ve srovnání s kontrolním úsekem pokládaným za horka. [18]

Azalt ECO ²					
Druh zkoušky	Norma	Horká směs	NT směs (ECO ²)	Požadavek NF EN 13108-1	
		165 °C	120 °C	BBSG2 0/10	
Gyrátor – mezerovitost po 60 otáčkách	NF EN 12697-31	7,8	8	5 ≤ V60 ≤ 10	
Zkouška Duriez r _{water} (MPa)	NF P98-251-1	10,31	9,9		
R _{air} (MPa)		10,99	12,27		
r _{water} / R _{air}		0,94	0,81	≥ 0,75	
Hloubka vyjetí koleje při 60 °C po 30 000 cyklech (%)	NF EN 12697-22	5,1	4,8	≤ 7,5	

Zdroj energie	Horká směs	NT směs	Horká směs	NT směs	Doprava (10 km)
	Obalovna		Pokládka		
Zemní plyn (MJ/ t směsi)	200,02	128,11	*	*	*
Nafta (MJ/t směsi)	*	*	12,98	14,86	10,57
Elektřina (MJ/t směsi)	4,25	3,47	*	*	*

Obrázek 10: Vlastnosti asfaltových směsí vyrobených na obalovně při pokládce zkušebního úseku v Blois včetně energetických úspor [18]

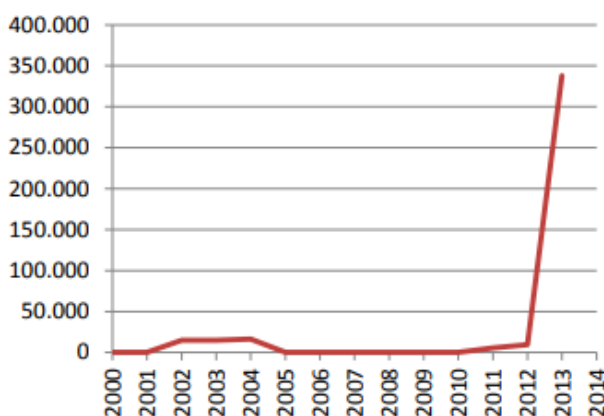
2.7.3 Švédsko

Ve Švédsku bylo v roce 2013 vyrobeno kolem půl milionu tun NTAS, z čehož 145 000 tun výhradně pomocí metody KGO – technologie vyvinuté Karlem-Gunnarem Olssonem. Tato speciální technologie nevyužívá žádné asfaltové pěny ani přísady, ale je založena na obalení hrubého kameniva asfaltovým pojivem a následném přidávání jemné frakce a fileru, čímž vznikne asfaltová směs s lepšími kompaktními vlastnostmi, která může být vyráběna, pokládána i hutněna při nižší teplotě. [7]

2.7.4 Norsko

V Norsku byl v roce 2010 zahájen projekt nazvaný Low Temperature Asphalt “LTA-2011”, za účelem zkoumání důsledků na zdraví pracovníků v oboru výroby asfaltových směsí a kvalitu asfaltových směsí. V rámci projektu bylo realizováno 11 zkušebních úseků s šesti různými technologiemi. Výrobní teplota nízkoteplotních směsí byla snížena o 30 °C oproti tradičnímu postupu. Na každém úseku byla položena referenční část s běžnou za horka prováděnou asfaltovou směsí. Ze závěrů projektu vyplývá snížení výparů o 50 % a zároveň nebyly shledány rozdíly v kvalitě NTAS oproti tradiční horké asfaltové směsi (mezerovitost, trvalé deformace). [7] [5]

Od roku 2012 byl v Norsku kladen vysoký důraz na zvýšení produkce NTAS. K dosažení tohoto cíle byli dodavatelé NTAS odměňováni bonusem 4 EUR/t vyrobené směsi při snížení teploty pokládky o minimálně 25 °C a zajištění stejné kvality, jako u konvenční asfaltové směsi. Nárůst výroby NTAS je patrný z obrázku 11. [7] [5]



Obrázek 11: Množství tun vyrobených NTAS v Norsku [7]

2.7.5 Dánsko

V Dánsku společnost NCC vyrábí nízkoteplotní asfaltové směsi technologií zpěněného asfaltu. V září 2012 bylo provedeno porovnání na dálnici 321 v Ulladulle, kde byla za naprosto stejných podmínek jako u běžné asfaltové směsi položena polymerem modifikovaná asfaltová směs SMA, vyrobená při snížené teplotě (o 20 °C nižší než tradiční asfaltová směs). Výsledkem porovnání byly stejné volumetrické hodnoty i přilnavost. Na základě těchto příznivých výsledků firma NCC poté realizovala řadu dalších úseků. [7]

2.7.6 Švýcarsko

Nejrozšířenějšími technologiemi ve Švýcarsku je použití organických přísad (zejména vosků) a technologie zpěněného asfaltu. Jedním z rozsáhlých programů zabývajících se technologií NTAS je projekt PLANET (**P**otentiel et **A**nalyse des **E**nrobés **T**ièdes), zahájený v roce 2011. Hlavní náplní projektu byla výroba NTAS na obalovně, ověření mechanických vlastností, zkoušky trvanlivosti, spotřeby energie emisí, stejně jako zkoumání vlivu na pracovníky. Jedním z úkolů bylo sledovat a hodnotit 4 různé zkušební úseky NTAS, měřící přibližně 130 m. Základní popis jednotlivých úseků je uveden v tabulce 3.

Označení	Typ směsi	T _{výroby} [°C]	Asfaltové pojivo	Technologie
REF	HMA	165	50/70	-
PACK	WMA	130	50/70	Chemická přísada, dávkování 0,4 %/pojiva
ZEO	WMA	130	50/70	Syntetický zeolit, dávkování 0,25 %/kameniva
WATER	WMA	115	250/330, 35/50	Zpěněný asfalt
WATER+RAP	WMA	115	250/330, 70/100	Zpěněný asfalt, 50 % R-materiálu

Tabulka 3: Projekt PLANET - použité technologie [19]

Část zkoušek byla prováděna v laboratoři na tělesech odebraných ze stavby (jádrové vývrty), další část měření se prováděla in-situ. Měření in-situ (tenzometry a FWD) neprokázalo výrazné změny mezi nízkoteplotními variantami, ačkoli varianta s R-materiálem měla mírně nižší hodnoty tuhosti. Naopak v případě laboratorních měření je



potřeba zdůraznit pozitivní vliv aplikace R-materiálu na únavové chování a tvorbu trvalých deformací. [19] [5]

2.7.7 Maďarsko

Předním výrobcem NTAS v Maďarsku je společnost COLAS. Výrobou nízkoteplotních asfaltových směsí se zabývá od roku 2008. V letech 2008-2010 realizovala několik úseků s použitím přísady amidů mastných kyselin. Ačkoli tyto úseky přinesly pozitivní výsledky, vyšší pořizovací cena přísad způsobila, že i přes téměř 30% úsporu energie byla výsledná cena vyšší, než u běžných asfaltových směsí prováděných za horka. Z tohoto důvodu se společnost rozhodla v roce 2012 instalovat pěnící jednotku, díky které jsou vyrobené asfaltové směsi také finančně výhodnější. [20] [5]

3 Asfaltové směsi s podílem R-materiálu

Recyklace stavebních materiálů je jedním z důležitých nástrojů pro zachování udržitelného rozvoje a překlenutí rozporu mezi ekonomickým růstem a ochranou životního prostředí. Konstrukce vozovky, stejně jako každá jiná stavba, má svou omezenou životnost. Po dosažení této lhůty se z materiálu v konstrukci stává odpadní materiál, který je však možné při vhodném zacházení zpětně použít do nové konstrukce vozovky. Tento materiál je v silničním stavitelství nazýváme jako R-materiál (v anglicky psané odborné literatuře označován zkratkou RA/RAP – reclaimed asphalt / reclaimed asphalt pavement).

3.1 R-materiál

Problematikou R-materiálu se zabývá norma *ČSN EN 13108-8 Asfaltové směsi – Část 8: R-materiál*. Dle této normy je R-materiál definován jako „asfaltová směs znovuzískaná odfrézováním asfaltových vrstev nebo drcením desek vybouraných z asfaltových vozovek nebo velkých kusů asfaltové směsi a asfaltové směsi z neshodné nebo nadbytečné výroby“. [21]

3.1.1 Získání R-materiálu ze starých vozovek

Získat materiál z konstrukce vozovky, která je za hranicí životnosti, nebo jakkoli nevyhovuje provozním potřebám, lze frézováním asfaltových vrstev pomocí silniční frézy nebo vybouráním pomocí mechanizovaných strojů, jako jsou bagry, rozrývače, sbíjecí kladiva apod. Ideálně by mělo frézování probíhat po jednotlivých vrstvách, z důvodu různé kvality a zrnitostního složení jednotlivých asfaltových vrstev. Takto získaný materiál se musí následně předřdit a protřídít na potřebnou frakci.

3.1.2 Značení R-materiálu

Dle *ČSN EN 13108-8* se R-materiál značí ve tvaru U RA d/D, kde U označuje zrnitost R-materiálu a je to nejmenší velikost síta v milimetrech, kterým propadne 100 % zrn asfaltové směsi, RA je zkratka pro asfaltový recyklát (z anglického názvu Reclaimed Asphalt) a d/D označení zrnitosti kameniva v R-materiálu, kde d je velikost spodního síta a D je velikost horního síta kameniva v mm, přičemž pro R-materiál je d konstantně rovno



0. Například tedy 22 RA 0/16 označuje R-materiál, jehož kamenivo má velikost horního síta 16 mm a zrna asfaltové směsi mají maximální velikost 22 mm. [21]

3.1.3 Použití R-materiálu

Asfaltový recyklát se smí v České republice přidávat do asfaltových směsí jen při výrobě asfaltových betonů, a to ještě s významným omezením. Do nejkvalitnějších směsí v obrusných vrstvách, které značíme písmenem S, se R-materiál nesmí v žádném případě používat, přestože to evropské normy umožňují. Jeho obsah v asfaltových směsích se zvyšuje se snižující se kvalitou vrstvy a hloubkou jejího zabudování v konstrukci vozovky. Do vrstev označovaných ACP+ lze přidávat až 60 % recyklátu.

Obrusné vrstvy		Ložní vrstvy		Podkladní vrstvy	
Druh směsi	Obsah R-materiálu [%]	Druh směsi	Obsah R-materiálu [%]	Druh směsi	Obsah R-materiálu [%]
ACO 8	25	ACL 16 S	30/15 ¹⁾	ACP 16 S	50
ACO 8 CH	25	ACL 16 +	30	ACP 16 +	60
ACO 11 S	-	ACL 16	40	ACP 22 S	50
ACO 11 +	-	ACL 22 S	30/15 ¹⁾	ACP 22 +	60
ACO 11	25	ACL 22 +	30		
ACO 16 S	-	ACL 22	40		
ACO 16 +	-				
ACO 16	25				

¹⁾ nemodifikované asfalty / modifikované asfalty

Tabulka 4: Nejvyšší dovolený obsah R-materiálu v asfaltových směsích dle ČSN EN 13108-1 [22]

Toto naše omezení vychází spíše z obav před nekvalitní výrobou než před nemožností takové výrobky produkovat. Vzhledem k tomu, že jde o složitější technologický proces, mohlo by nekázní jednotlivých výrobních složek docházet k pochybení. Výsledkem je malé procentuální využití R-materiálu v nových asfaltových směsích, jež je dokumentováno v tabulce 5 v porovnání s vybranými státy. [23] Je zřejmé, že převážná část dostupného R-materiálu se v České republice použije do nestmelených vrstev, případně při recyklaci za studena, ale pouze malé procento (16 % dle údajů EAPA [17] z roku 2015) se využije do výroby nových asfaltových směsí za horka nebo za tepla.



Stát	R-materiál k dispozici v tis. t	% použití R-materiálu v technologiích				Plocha položených AS s využitím R-materiálu za horka v tis. m ²
		za horka, za tepla	za studena	nestmele né	ostatní	
Belgie	1 500	64	-	-	-	-
Česká republika	2 000	16	30	20	34	376
Dánsko	1 300	52	-	10	35	-
Finsko	1 160	100	-	-	-	14 100
Francie	7 000	68	-	-	-	930
Itálie	9 000	20	30	20	30	-
Německo	11 000	90	0	10	0	-
Nizozemsko	4 500	70	10	0	20	-
Rakousko	1 350	45	-	-	-	-
Švédsko	1 600	84	5	5	0	4 000
Velká Británie	3 500	85	15	0	0	-
Turecko	1 520	2	0	98	0	-
USA	69 700	91		6	3	-

Tabulka 5: Objem recyklace ve vybraných státech [17]

3.2 Druhy recyklace

Stavební praxe rozeznává dvě základní technologie provádění recyklace vozovek, jedná se o recyklaci za studena a za tepla. Obě tyto technologie mohou prováděny na místě, nebo v obalovně.

3.2.1 Recyklace za horka na místě

Recyklace asfaltových vrstev na místě za horka je metoda opravy asfaltových vozovek, která spočívá v ohřátí asfaltové vrstvy určené k recyklaci, jejím rozpojení, promíchání s přidávanými materiály (změkčující přísady, asfaltové pojivo, kamenivo nebo asfaltová směs), zpětném položení a zhutnění. Rozeznávají se čtyři způsoby této recyklace:

- **Reshape.** Reshape je technologie úpravy příčného profilu vozovky, při které se nahřátá a rozpojená asfaltová vrstva nakypří a urovná v příčném a podélném směru a zhutní. Tato metoda se používá pouze při malých deformacích vozovky nezasahujících do ložní a horní podkladní vrstvy. Výhodou je minimální spotřeba stavebního materiálu a s tím související poměrně nízké náklady.
- **Repave.** Repave je technologie zpočátku se stejným postupem jako Reshape s tím, že na urovnanou rozpojenou nakypřenou a urovnanou asfaltovou vrstvu (předposlední krok Reshape) se položí nová asfaltová vrstva bez vzájemného promísení směsí a následně se provede zhutnění obou vrstev současně.
- **Remix.** Remix představuje technologii recyklace asfaltové vrstvy na místě. Na povrch vozovky se rozprostře přídatné kamenivo, vozovka s kamenivem se nahřeje a rozpojí. Přidají se další potřebné materiály (změkčující přísady, silniční asfalt, předobalená směs kameniva), promíchají se s ohřátou asfaltovou směsí a takto upravená směs se položí a zhutní. Postup je vhodný zejména tehdy, má-li stará



úprava nevhodné složení a špatné fyzikálně mechanické vlastnosti (špatná čára zrnitosti, nedostačující vlastnosti pojiva).

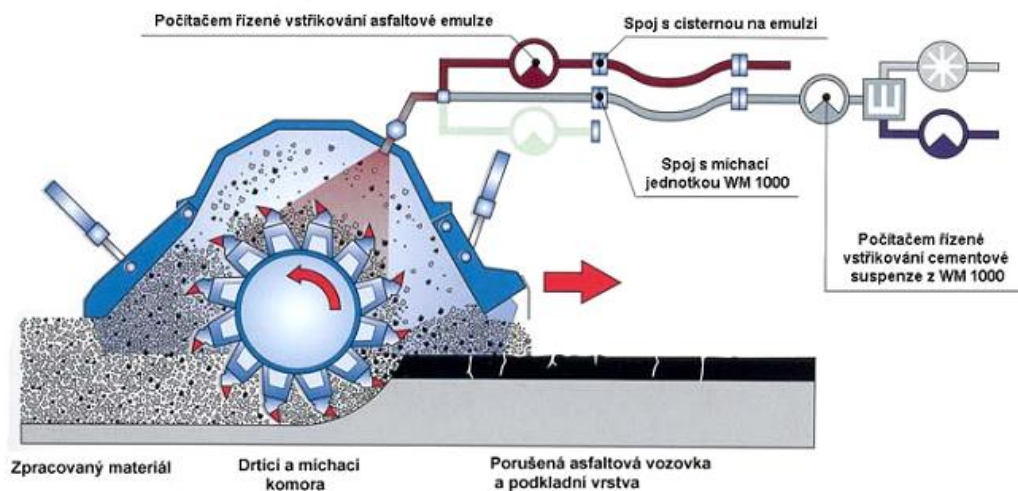
- **Remix plus.** Remix plus je technologie založená na technologii Remix s tím rozdílem, že po položení upravené asfaltové směsi (předposlední krok technologie Remix), se na ni položí nová směs obrusné vrstvy a zhutní se obě vrstvy současně. [24] [25]

3.2.2 Recyklace za studena na místě

Recyklace asfaltových vrstev za studena na místě se provádí podobným způsobem jako technologie Remix s tím rozdílem, že jako pojivo se místo asfaltu používá pomaluštěpná asfaltová emulze nebo zpěněný asfalt a neprovádí se žádné nahřívání recyklované konstrukční vrstvy či souvrství. Vše tedy probíhá za normální teploty, jen pro zlepšení přilnavosti asfaltové emulze ke kamenivu se někdy provádí mírný ohřev asfaltové emulze. Proto má tato technologie nejmenší dopad na životní prostředí a vzhledem k rychlosti provádění nejsou nutné dlouhé uzavírky. Zároveň se minimalizuje odpadní materiál, protože tato technologie využívá až 100 % původního materiálu. Na druhou stranu však tato metoda přináší i jistá rizika a omezení. Vozovka musí být před zahájením prací důsledně diagnostikována, aby mohla být laboratorně navržena vhodná a funkční směs. Nicméně ani za předpokladu správné diagnostiky a návrhu nelze očekávat stejnou kvalitativní úroveň jako u směsí obalovaných asfaltem za horka. Proto se recyklace na místě za studena používá především pro ložní a podkladní vrstvy. Použití pro obrusné vrstvy je možné pouze u pozemních komunikací s velmi nízkým dopravním zatížením a doporučuje se je opatřit vhodnou tenkou povrchovou úpravou (nátěr, emulzní kalová vrstva). [24] [14]



Obrázek 12: Schéma soupravy pro recyklaci za studena na místě [26]



Obrázek 13: Schéma činnosti recyklační frézy [24]



Obrázek 14: Recyklační fréza CRM2 [26]

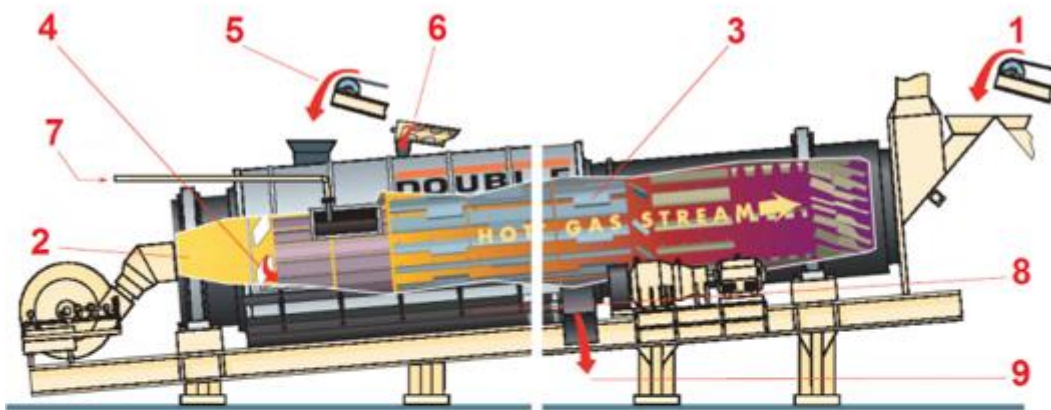
3.2.3 Recyklace za horka na obalovně

Jde o metodu, kde se nejvíce zhodnotí R-materiál. Princip spočívá v tom, že se do výroby nových asfaltových směsí přidává vyfrézovaný nebo vybouraný a následně předrcený R-materiál. Existuje několik možností, jak lze tento materiál dávkovat:

- **Přidávání studeného R-materiálu přímo do míchačky (max. 20 % RA).** Jde u nás o nejčastější způsob dávkování R-materiálu na obalovnách za horka. Princip spočívá v tom, že se studený recyklát přidává přímo do míchačky šaržové obalovny. Jelikož je přidávaný materiál studený, je třeba předehřívát přidávané kamenivo na vyšší teploty, než je předepsaná teplota míchání. Problém bývá ve vysoké vlhkosti R-materiálu. Při smíchání s předehřátým kamenivem dochází k rychlému přechodu tepla a přítomná vlhkost způsobuje vznik velkého množství vodní páry. Tu je třeba odvádět odvětrávacím zařízením. Reálně se touto metodou zpracovává do 20 % R-materiálu z celkové hmotnosti asfaltové směsi. V současnosti je v České republice vybaveno zařízením na přidávání studeného R-materiálu do za horka vyráběných asfaltových směsí cca 40 % šaržových obaloven. [27]



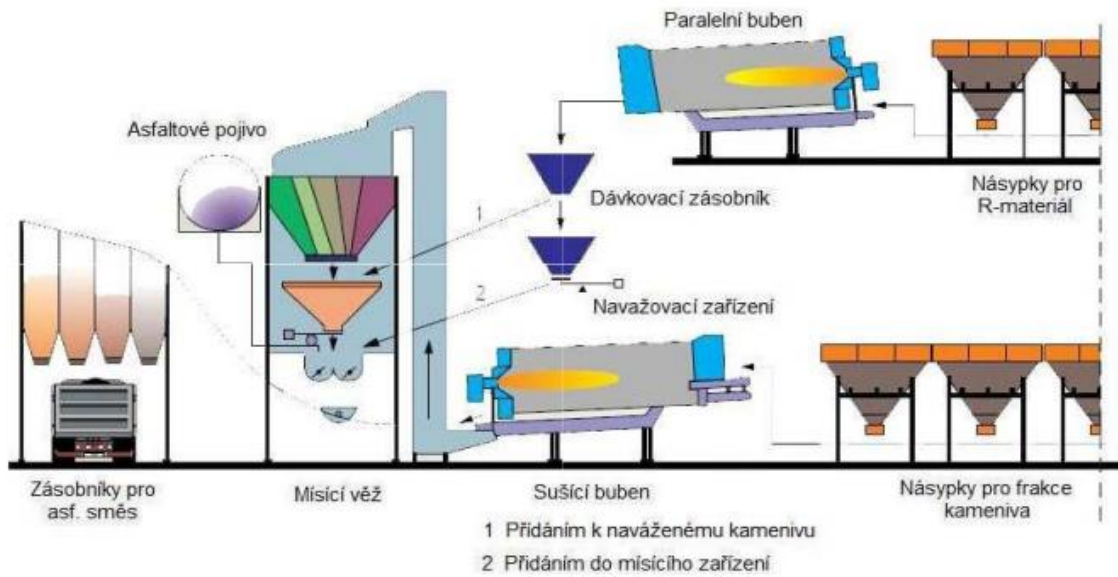
- **Dvouplášťový buben (až 50 % RA).** Tato technologie využívá bubnu, který je rozdělen na vnější a vnitřní část. Do vnitřního bubnu je zavedeno dosud nepoužité kamenivo, které po předeřhání proudem horkého vzduchu propadá do vnějšího bubnu. Mezitím probíhá vysoušení R-materiálu ve vnějším bubnu. Promísení dosud nepoužitého kameniva a R-materiálu probíhá ve vnějším bubnu. Do vnějšího bubnu je rovněž přidáván filer a asfaltové pojivo. Výhodou této technologie je malý zábor plochy a energetická efektivita procesu. [28] [29] Technologii dvouplášťového bubnu v upravené podobě technologie Ammann využívá v České republice například společnost Silnice Group a.s., Silnice Žáček s.r.o. nebo PKB, a.s.



- | | |
|--|--|
| 1 – Přísun nového kameniva do vnitřního bubnu | 6 – Přidání fileru do vnějšího bubnu |
| 2 – Hořák: přísun horkého vzduchu do vnitřního bubnu | 7 – Přidání asfaltového pojiva do vnějšího bubnu |
| 3 – Pohyb kameniva vnitřním bubnem | 8 – Míchání nového kameniva, R-materiálu, fileru a asfaltového pojiva ve vnějším bubnu |
| 4 – Přesun předeřhátého kameniva do vnějšího bubnu | 9 – Hotová směs opouští vnější bubnu |
| 5 – Přísun R-materiálu do vnějšího bubnu | |

Obrázek 15: Schéma dvouplášťového bubnu bez použití míchačky šaržové obalovny [28] [29]

- **Dávkování předeřhátého R-materiálu (až 90 % RA).** Obalovna využívající tuto metodu musí být vybavena přídatným zařízením na vysušení R-materiálu, tzv. paralelním sušícím bubnem. Ten je umístěn v horní části obalovny (obrázek 16, 17) a slouží k ohřívání R-materiálu na teplotu 120-130 °C, čímž je umožněno podstatně vyšší procento jeho dávkování (až 90 %). V tomto případě je nutno přidávat do R-materiálu přísady na změkčení asfaltu nebo ho míchat s pojivem měkčí gradace. Mezi technologická opatření nezbytná pro umožnění zpracování R-materiálu ve vyšším množství patří frézování po vrstvách, oddělené skladování R-materiálu, zastřešení skládek kameniva a R-materiálu z důvodu snížení vlhkosti, homogenizace R-materiálu před jeho dalším zpracováním pomocí přeložení (přesypání) z jedné hromady na druhou a průběžná kontrola parametrů pojiva a zrnitosti na skládce R-materiálu. V současné době je v České republice pouze pět obaloven, které disponují paralelním sušícím bubnem, jen tedy nepatrné procento z celkového počtu 104 obaloven [30] nacházejících se na území České republiky. [24] [13]



Obrázek 16: Schéma šaržové obalovny s paralelním sušícím bubnem [31]



Obrázek 17: Paralelní sušící buben šaržové obalovny [31]

- **Metoda Drum-mix u kontinuálních obaloven.** Tato metoda je rozšířená zejména v USA, kde se takto zpracovává až 80 % vyráběných asfaltových směsí. Na území České republiky je pouze jedna kontinuální obalovna, a proto není tato metoda u nás příliš využívána. R-materiál se dávkuje ve střední části sušícího a ohřívacího bubnu průběžně, následně se míchá s kamenivem a asfaltovým pojivem, popř. probíhá míchání v samostatné míchací jednotce. Množství přidávaného R-materiálu je u této technologie maximálně cca 50 %. [32] [27]



3.2.4 Recyklace za studena na obalovně

Principem této technologie je zpracování R-materiálu v míchacím zařízení, které se nachází na obalovně. Existují také mobilní míchací zařízení (obrázek 18), která se umísťují poblíž stavby z důvodů minimalizace přepravních vzdáleností a tím šetření finančních prostředků. Postup provádění spočívá v odfrézování konstrukčních vrstev a odvozu materiálu do míchací jednotky. V té se materiál homogenizuje společně s přísadkou pojiva, vody, zlepšujících přísad a případně dalším doplňujícím kamenivem. Takto upravená směs se odveze zpět na stavbu, kde se pomocí finišeru položí nová vrstva a ztuhne na požadovanou míru ztuhnutí. Během dopravy nesmí docházet k segregaci, znečištění a k významné změně vlhkosti. Tato technologie se používá především u staveb menšího rozsahu, kdy by přistavení recyklační soupravy s vodou a pojivou nebylo ekonomicky efektivní. [33] [34]



Obrázek 18: Mobilní míchací zařízení, Recyklace na v míchacím centru [33]

3.3 Použití rejuvenátorů

Během celého životního cyklu asfaltové vozovky dochází k výrazným změnám vlastností asfaltového pojiva. Ke konci životnosti je asfaltové pojivo tvrdší, pevnější, má sníženou plasticitu, elasticitu a je křehčí. Abychom R-materiál s tímto zestárlým pojivem mohli plnohodnotně využít do nové konstrukční vrstvy, a to ne pouze jako výplň – kamenivo, ale včetně asfaltového pojiva, je nejprve nutné vrátit zestárlému pojivu jeho původní vlastnosti, resp. částečně takové vlastnosti obnovit, protože úplné zvrácení degradačních procesů možné není. Za tímto účelem se využívají „oživovače“ asfaltu – rejuvenátory. Na rozdíl od různých změkčovacích přísad, které pouze snižují viskozitu zestárlého pojiva, rejuvenátory obnovují některé jeho fyzické a chemické vlastnosti. V současné době existuje mnoho typů rejuvenátorů. Dají se rozdělit do několika kategorií, podle původu se rozlišují parafinické oleje, naftenové oleje, riacylglyceroly a mastné kyseliny, aromatické extrakty a tálové oleje. [13] [35]

3.4 Výhody recyklace vozovek

Recyklace vozovek má nesporný ekonomický i ekologický přínos. Z ekonomického hlediska jde o snížení celkových nákladů, zejména díky snížení potřeby množství asfaltového pojiva, nového kameniva a omezení přepravy těchto materiálů. Některé zdroje zmiňují úsporu až 25 % celkových nákladů při použití 50 % R-materiálu (tabulka 6). Z ekologického hlediska je použití R-materiálu velice šetrné k životnímu



prostředí. Důvodem je již zmíněné snížení množství přidávaného asfaltového pojiva, menší energetická spotřeba při ohřevu materiálů a snížení potřeby skládek. Použití R-materiálu může zlepšit i vlastnosti výsledné asfaltové vozovky, kdy díky relativní tuhosti materiálu dochází ke zlepšení odolnosti proti trvalým deformacím. [25] [2]

Obsah R-materiálu [%]	Cena [Kč/t]	Úspora [Kč/t]	Úspora [%]
0	1310	-	-
Asfaltový beton 15	1210	100	7,6%
25	1150	160	12,2%
50	980	330	25,2%

Tabulka 6: Kalkulace úspor při použití R-materiálu [36]

3.5 Nevýhody recyklace vozovek

Tak jako u každé technologie, i v případě recyklace asfaltových vozovek existují určité nevýhody. Asi největší překážkou pro širší využívání této technologie je nutnost vybavit obalovnu paralelním bubnem a zastřešení skládek s asfaltovým recyklátem, což představuje určitou počáteční finanční investici. Zůstaneme-li u finanční stránky věci, je rovněž nutné počítat s vyšší cenou oživovacích přísad (rejuvenátorů). Z technologického hlediska je problémem přehřívání kameniva na vysoké teploty při použití recyklace za horka na obalovně, jelikož může dojít k degradaci asfaltového pojiva při jeho kontaktu s horkým kamenivem. V potaz je také nutno vzít možný výskyt škodlivin v R-materiálu, jako je obsah dehtového pojiva, částice vzniklé otěrem z pneumatik či otěrem brzdového obložení nebo částice z výfukových plynů. [37]

4 NTAS s podílem R-materiálu

Dalším možným technologickým krokem vedoucím k celkovému snížení spotřeby energie a snížení emisí CO₂ je kombinovaný přístup zvýšeného množství přidávaného R-materiálu a konceptu NTAS. Výhodou této kombinace jsou nižší teploty potřebné pro nahřátí R-materiálu a snížené stárnutí pojiva v důsledku nižších pracovních teplot. Navíc jsou některé přísady pro nízkoteplotní asfaltové směsi schopné částečně změkčit zestárlé pojivo v R-materiálu. Další výhodou přidávání R-materiálu je zlepšení odolnosti vůči trvalým deformacím. [5] [2]

4.1 Technické předpisy pro NTAS s podílem R-materiálu v ČR

Použití R-materiálu do nízkoteplotních asfaltových směsí se v České republice věnují technické podmínky *TP 238 - Nízkoteplotní asfaltové směsi*, které připouští použití R-materiálu, pokud to pro zvolený výchozí typ směsi povolují příslušné normy ČSN EN 13108 *Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály* a pokud jsou splněny požadavky technických kvalitativních podmínek (pro hutněné asfaltové vrstvy jde o *TKP 7*, u litých asfaltů o *TKP 8*).

Dle *TP 238* musí být R-materiál použitý do NTAS získán alespoň ze 75 % frézováním krytových vrstev asfaltových vozovek. Při použití R-materiálu nad 10 % z hmotnosti kameniva musí být u použitého R-materiálu zjištěna po extrakci čára zrnitosti kameniva, obsah asfaltového pojiva a základní vlastnosti pojiva, minimálně bod měknutí



metodou kroužek kulička a penetrace při 25 °C. Zároveň musí být dodržen postup získávání, skladování, úpravy a zkoušení R-materiálu dle požadavků ČSN EN 13108-8 *Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 8: R-materiál*. [4]

5 Vybrané zkušební úseky v ČR

5.1.1 Tunelový komplex Blanka, Praha

Od dubna 2013 byla realizována pokládka asfaltových vrstev v nejdelším českém silničním tunelu v ČR, v tunelovém komplexu Blanka. Všechny vrstvy konstrukce vozovky byly pokládány technologií nízkoteplotních asfaltových směsí s použitím přísady Evotherm MA3. Příklad umožňuje snížit teplotu směsi o 10-30 °C. Celkem se provedla pokládka cca 40 000 t asfaltových směsí. Jelikož je v tunelu omezena možnost větrání, je snížení exhalací důležitým faktorem pro zachování bezpečného pracovního prostředí pro pracovníky pokládky. Z důvodu použití nízkoteplotní přísady se proces hutnění posunul přibližně o 30 °C níže. Hutnění směsi bylo v tomto případě ukončeno až při teplotě 50 °C. [38] [5]



Obrázek 19: Pokládka v tunelu Blanka [38]

Výsledky průkazných zkoušek jsou shrnuty v tabulce 7. Z výsledků vyplývá, že snížením teploty nedošlo ke zhoršení sledovaných charakteristik.

	BBTM 8	BBTM 8 + MA3	ACL 22 S	ACL 22 S + MA3	ČSN EN 13108-1
Teplota hutnění [°C]	160	130	160	140	---
ITS _D [kPa]	1 636	1 791	1 744	1 704	---
ITS _W [kPa]	1 343	1 517	1 568	1 511	---
ITSR [%]	82	85	90	89	min. 80
PRD _{AIR} [%]	---	---	2,2	2,4	max. 3,0
WTS _{AIR} [mm/1000 cyklů]	---	---	0,036	0,021	max. 0,05

Tabulka 7: Tunel Blanka - průkazní zkoušky [39]

5.1.2 Pokusný úsek Olšovec – Potštát

V rámci ověřování nových technologií recyklace asfaltových směsí s vysokým podílem R-materiálu byl v roce 2016 proveden pokusný úsek na silnici II/440 Olšovec –



Potštát, km 36,424 až km 35,624 s dávkováním 50 % R-materiálu. Tento pokusný úsek byl proveden ve spolupráci se společností Kareta s.r.o., pro kterou VUT v Brně připravila požadované receptury. Na pokusném úseku bylo vyfrézováno 120 mm asfaltových vrstev s tím, že byla zpětně položena podkladní vrstva ACP 22+ v tloušťce 80 mm, na kterou byl položen jednovrstvý kryt ACO 11+ s obrusnou vrstvou v tloušťce 40 mm. Pokusný úsek byl rozdělen na 3 dílčí podúseky, kde byly v prvním podúseku použity jak do obrusné, tak i do podkladní vrstvy standardní materiály bez přidání R-materiálu, v druhém dílčím podúseku bylo použito do obou vrstev 50 % R-materiálu bez použití rejuvenátoru a v třetím podúseku bylo použito stejné složení jednotlivých směsí jako v druhém podúseku, avšak materiál byl naměkčen na úroveň přidávaného asfaltového pojiva 70/100 rejuvenátorem Prephalt. Zkušební úsek je určen k dlouhodobému sledování, přičemž každý rok by měly být provedeny zkoušky asfaltových pojiv a směsí z obrusné vrstvy a vyhodnoceny jejich funkční parametry. [40]

5.1.3 II/204 Mrtník – Kaznějov

Na komunikaci II/204 v úseku Mrtník–Kaznějov v Plzeňském kraji byla na konci roku 2012 realizována firmou Froněk, spol. s.r.o. v rámci výzkumného projektu RECPave zkušební pokládka nové technologie. Šlo o dva dílčí zkušební úseky se zaměřením na problematiku využití většího množství asfaltového recyklátu v asfaltu stmelovaných krytových vrstvách, a to v množství větším než doposud dovoluje platná norma ČSN EN 13108-1 pro asfaltové betony. Záměrem projektu i realizovaných zkušebních úseků je prokázat možnost přidávání většího množství recyklátu do asfaltových směsí, resp. přidávání asfaltového recyklátu i do směsí, kde to doposud není dovoleno. Z těchto důvodů bylo na obou zkušebních úsecích do obrusné vrstvy přidáváno 20 % a 40 % R-materiálu a do ložní vrstvy 30 % a 50 % R-materiálu. Každý z těchto zkušebních úseků byl proveden s pokládkou obrusné vrstvy ACO 11 + a ložní vrstvy ACL 22 +. Uvedeným výrobním postupem by měla být zajištěna jednak možnost vyšší substituce nového přírodního kameniva, jednak šetrné opětovné využití recyklovatelného materiálu s dílčí aktivací vlastností původního asfaltového pojiva a minimalizovanou energetickou náročností výrobního procesu. Současně byla v obou typech asfaltové směsi využita formou přímého dávkování přísada za účelem možnosti snížit pracovní teploty výroby asfaltové směsi nebo prodloužit interval její zpracovatelnosti. To také znamená umožnit šetrnější využití R-materiálu s omezením nezbytnosti nadměrného ohřevu R-materiálu a omezením teplotně podmíněné degradace materiálu. Oba typy směsí byly navrženy jednak se změkčovací přísadou Storflux pro podúsek A – B a dále s přísadou Storbit pro podúsek C – D, která nejen změkčuje tvrdé pojivo v R-materiálu, ale navíc dovoluje snížit teplotu zpracování. [41]



Mrtník	D – C		B – A		Kaznějov
obrusná vrstva	ACO 11 +, 20 % R-materiálu NV		ACO 11 +, 20 % R-materiálu		obrusná vrstva
teplota hutnění	130 °C		150 °C		teplota hutnění
doba míchání	50 s	50 s	25 s	50 s	doba míchání
ložní vrstva	ACL 22 +, 30 % R-materiálu NV		ACL 22 +, 30 % R-materiálu		ložní vrstva
teplota hutnění	135 °C		150 °C		teplota hutnění
doba míchání	50 s	50 s	25 s	50 s	doba míchání
obrusná vrstva	ACO 11 +, 40 % R-materiálu NV		ACO 11 +, 40 % R-materiálu		obrusná vrstva
teplota hutnění	130 °C		150 °C		teplota hutnění
doba míchání	50 s	50 s	25 s	50 s	doba míchání
ložní vrstva	ACL 22 +, 50 % R-materiálu NV		ACL 22 +, 50 % R-materiálu		ložní vrstva
teplota hutnění	135 °C		150 °C		teplota hutnění
doba míchání	50 s	50 s	25 s	50 s	doba míchání
Mrtník	D – C		B – A		Kaznějov

Obrázek 20: Asfaltové směsi použité na zkušebním úseku II/204 Mrtník – Kaznějov [41]



Obrázek 21: Pohled na výslednou položenou vozovku [41]

5.1.4 II/235 Terešovská Huť – Terešov a II/233 Prašný Újezd

V roce 2013 byla realizována první pokládka nízkoteplotní asfaltové směsi (NTAS) s velkým podílem R-materiálu na dvou úsecích, a to II/235 Terešovská Huť – Terešov a II/233 Prašný Újezd. Tento projekt byl realizován firmou Froněk, spol. s.r.o. a hlavním cílem realizovaných úseků bylo ověření možnosti výroby a pokládky asfaltových směsí s použitím zpěněného asfaltu a vyššího podílu R-materiálu ve výsledné asfaltové směsi. Technologie zpěněného asfaltu byla odzkoušena v ložních vrstvách s asfaltovým pojivem gradace 70/100 a se dvěma úrovněmi dávkovaného množství R-materiálu, konkrétně s 50 % a 75 % hmotnosti ve výsledné směsi. V obrusných vrstvách byly



opětovně realizovány asfaltové směsi typu ACO 11+ s pojivem 50/70 ve variantách 20 % a 40 % R-materiálu, resp. s rejuvenátorem Storbit nebo bez jeho aplikace. Směs byla vyrobena na obalovně typu TBA 160/240-U firmy Benninghoven. Ta je vybavena paralelním sušicím bubnem na R-materiál, což umožňuje přidávat do směsi vyšší podíl recyklátu. V obalovně je rovněž instalováno zařízení na výrobu zpěněného asfaltu, které je umístěno přímo vedle míchačky. Voda se přivádí potrubím přes malou vyrovnávací nádrž a je čerpadlem dávkována do vodorovného mísicího válce, do kterého je současně potrubím přiváděn asfalt. Vyroběný zpěněný asfalt je pak krátkým potrubím veden do míchačky. Nízkoteplotní asfaltová směs se vyráběla při 130 °C. Návrh směsi NTAS pro tuto lokalitu byl vypracován na ČVUT v Praze. Na konci července 2014 byla uskutečněna vizuální kontrola provedených vrstev, které měly za sebou jedno zimní období, respektive deset měsíců. Stav obrusné vrstvy byl velmi dobrý, bez poruch a lokálních segregací. Směs byla uzavřená, s dobrou makrotexturou povrchu. Tloušťky konstrukčních vrstev odpovídaly požadavkům projektu. [41]



Obrázek 22: Hutnění NTAS s recyklátem [41]



Obrázek 23: Jádrové vývrty vozovky s pěnoasfaltovou ložní vrstvou [41]



5.1.5 II/227 Žatec – Rakovník

V rámci řešení projektu TA02030549 „Maximálně efektivní využití recyklovaných asfaltových vrstev vozovek pro výrobu nových asfaltových směsí“ byl v září 2016 firmou Froněk, spol. s.r.o. proveden zkušební úsek se směsmi SMA 11S obsahující různý druh a podíl R-materiálu a také různé přísady. Úsek byl položen na silnici II. třídy ve Středočeském kraji v okrese Rakovník, přičemž se jedná o spojnici města Žatec, města Rakovník a městysu Křivoklát. Řešená oblast o délce necelých 5 km se nachází mezi městem Rakovník a obcí Kněžves. Jedná se o důležitou součást místní infrastruktury, která je také využívána například při neprůjezdnosti dříve rychlostní silnice R6, dnešní dálnice D6, se kterou se řešená komunikace kříží. Jako řešení daného úseku bylo navrženo vyfrézování stávajícího povrchu vozovky do hloubky 110 mm a položení nového povrchu, skládajícího se z asfaltového betonu pro ložní vrstvy (ACL 22 S) o tloušťce 70 mm a asfaltového koberce mastixového (SMA 11S) jakožto obrusné vrstvy o tloušťce 40 mm. Pro ověření použitelnosti R-materiálu do směsi typu SMA byly v rámci řešené oblasti použity 2 typy R-materiálu. První typ byla vyfrézovaná asfaltová směs z obrusné, ložní a podkladní vrstvy převážně se silničním asfaltem, která je na území ČR běžně dostupná. Tento materiál se dávkoval v množství 20 % a 30 %. Druhý typ byla vyfrézovaná asfaltová směs typu SMA, charakteristická přerušovanou čarou zrnitosti, obsahující modifikovaný asfalt. Tento materiál se dávkoval v množství 30 % a 50 %. Při návrhu směsí bylo využito klasické asfaltové pojivo (asfalt 50/70) obohacené o přísadu Storelastic, které zlepšuje parametry asfaltového pojiva obsaženého v R-materiálu, a modifikované asfaltové pojivo (PMB 45/80-55), které se na území ČR využívá ve směsích typu SMA. Dvě varianty směsi SMA 11S s modifikovaným asfaltovým pojivem s obsahem R-materiálu 30 % a 50 % vyfrézovaného ze směsi SMA byly zkoušeny v rámci bakalářské práce [42]. Po provedených laboratorních funkčních zkouškách obě směsi vyhověly na všechny požadavky, které stanovují příslušné normy, a bylo prokázáno, že využití R-materiálu jinak výrazně neovlivnilo funkční vlastnosti asfaltové směsi typu SMA.

5.1.6 II/236 Kačice – Smečno

Na podzim roku 2017 byl na silnici II/236 firmou Froněk, spol. s.r.o. položen zkušební úsek délky cca 1500 m asfaltové směsi typu SMA s obsahem R-materiálu. Tato komunikace slouží jako spojka mezi dálnicemi D6 a D7 resp. silnicí I/7 a v případě dopravních komplikací na jedné z dálnic je využívána i těžkou nákladní dopravou. Zkušební úsek byl rozdělena v ložní vrstvě na 3 podúseky o délce 500 m a v obrusné vrstvě na 6 podúseků o jednotné délce 250 m. V ložné vrstvě byla provedena pokládka tří typů nové technologie SMA L 22S, které se vzájemně liší množstvím přidávaného R-materiálu (0 %, 20 % a 40 %). Tloušťka pokládané ložné vrstvy byla 10 cm. Na každém podúseku ložní vrstvy byly realizovány dva typy asfaltových koberců o délce 250 m, které se vzájemně ve třech variantách lišily množstvím přidávaného R-materiálu, kdy doposud platné předpisy jeho použití v těchto směsích zakazují. Jedná se o směsi SMA 11S a BBTM 8 A s obsahem R-materiálu odstupňovaným jako u výše zmíněné směsi SMA L 22S (0 %, 20 % a 40%). Pokládka obrusné vrstvy proběhla v tloušťce 3 cm. Tento zkušební úsek bude dále pozorován a zkoumán.



6 Praktická část

6.1 Úvod

Praktická část této diplomové práce byla věnována posouzení 13 variant nízkoteplotní asfaltové směsi typu ACL 16 +. Tyto asfaltové směsi byly vyrobeny na obalovně Brant společnosti Froněk, s.r.o. a byly použity při pokládce ložní vrstvy zkušebního úseku na silnici III. třídy mezi obcemi Vejvanov – Biskoupky a Biskoupky – Terešov v Plzeňském kraji. Celý tento přibližně 4,5 km dlouhý úsek byl realizován v rámci programu „Nové technologie“ pro rok 2016 Státního fondu dopravní infrastruktury. Zadavatelem zkušebního úseku byla krajská Správa a údržba silnic Plzeňského kraje a zhotovitelem byla společnost Froněk, s.r.o. Na realizaci projektu se nepřímo podíleli i vybraní dodavatelé chemických přísad, jakož i Fakulta stavební ČVUT v Praze, jejímž úkolem byla odborná asistence při výběru vhodných typů nízkoteplotních přísad, dohled při pokládce a následné provedení kontrolních laboratorních analýz všech použitých asfaltových směsí. [43]

6.2 Charakteristika směsí

Jednotlivé varianty směsi ACL 16 + byly vždy navrženy se stejnou čarou zrnitosti a stejným množstvím asfaltového pojiva. Současně je třeba zdůraznit, že byly vyrobeny na stejné obalovně, přičemž se zejména v případě aplikace R-materiálu použil stejný zdroj, včetně shodné úpravy tohoto materiálu (třídění a homogenizace). Asfaltové směsi se lišily v množství přidávaného R-materiálu frakce 0/16 mm (0 %, 40 % a 60 %), v gradaci použitého asfaltového pojiva (50/70, 70/100) a v aplikaci různých přidávaných nízkoteplotních přísad. Uplatnila se asfaltová pojiva se zvolenými nízkoteplotními přísadami, které měly funkci snížení výrobní teploty, případně zlepšení funkčních vlastností vyrobené asfaltové směsi, v některých případech vylepšení přilnavosti a případně omezení vzniku charakteristického oděru.

6.2.1 Přísady použité v rámci této práce

V rámci této práce byly aplikovány především různé typy syntetických vosků (Deurex E11B, Innodur, Sasobit, Zycotherm, PrePhalt SK). Dále byly využity rejuvenátory na bázi minerálních olejů, jejichž účelem je dílčí obnovení funkce zdegradovaného asfaltového pojiva v použitém R-materiálu, tedy forma „omlazení“ zestárlého asfaltového pojiva. V této souvislosti je třeba uvést, že pokud v asfaltové směsi byl přítomen R-materiál, směs vždy obsahovala rejuvenátor Storflux. Ve dvou případech se provedla záměna tohoto rejuvenátoru za Storbit a Storelastic a současně se nepoužila žádná další nízkoviskózní přísada. Ve vybraných typech asfaltových směsí byla navíc místo běžného silničního pojiva využita technologie zpěněného asfaltu, která představuje další alternativu výroby nízkoteplotní asfaltové směsi. Krátká charakteristika použitých přísad je uvedena v dalších podkapitolách a to pro přehlednost jejich základního technického vymezení.



6.2.1.1 DEUREX® E 11 B

Jde o syntetický nepolární polyethylenový vosk vyráběný společností Deurex. Snižuje viskozitu asfaltového pojiva, čímž zlepšuje zpracovatelnost a umožňuje snížení pracovní teploty. Je vhodný i při použití v asfaltové směsi s R-materiálem a vyznačuje se vynikajícím poměrem nákladů a výkonu. Dodává se ve formě bílých až průhledných granulí (obrázek 24). [44]



Obrázek 24: DEUREX® E 11 B [44]

6.2.1.2 INNODUR® PUR AD

INNODUR® PUR AD je amidový vosk na bázi polyamidů a mastných kyselin, které jsou chemicky vázané s dodatečnou adhezní složkou. Vzhledově jde o bělavý prášek (obrázek 25) a má rozmanitou oblast použití. Důvodem je jeho schopnost zlepšení stabilizace směsi a dalších vlastností modifikujících (snižujících) viskozitu. Snížení viskozity má velký přínos právě u nízkoteplotních asfaltových směsí, kvůli prodloužení doby zpracovatelnosti a snadnější pokládce. Výrobek může být použit ve všech známých typech asfaltového pojiva. Díky svým výrazně ztužujícím vlastnostem zajišťuje vysokou únosnost výsledné asfaltové směsi. Kromě již zmíněných výhod se INNODUR® PUR AD rovněž vyznačuje velmi dobrou přilnavostí ke všem druhům používaného kameniva, snadným mícháním se všemi druhy asfaltů a nejsou zaznamenány žádné negativní vlivy na mrazuvzdornost výsledné směsi. Co se týče dávkování, doporučené množství je 2,5-3,0 % z celkové hmotnosti asfaltového pojiva. [45]



Obrázek 25: INNODUR® PUR AD [45]

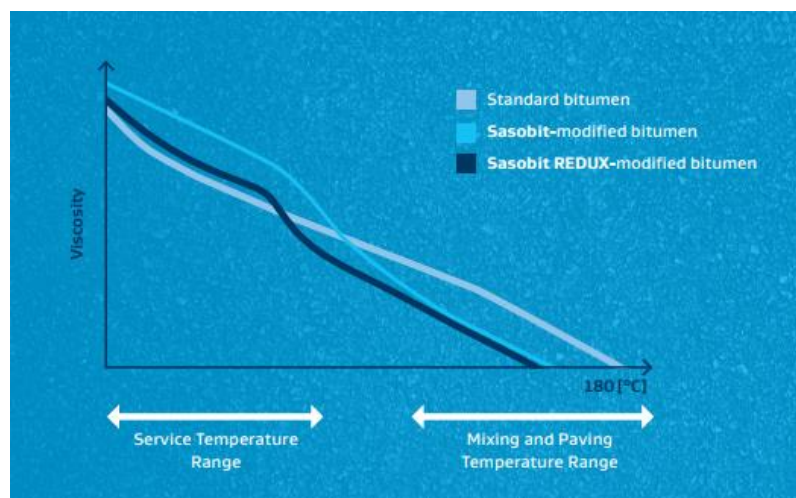
6.2.1.3 Sasobit REDUX

Sasobit patří mezi Fischer-Tropschovy parafíny, které se vyznačují velmi jemnou krystalickou strukturou, díky níž téměř nemění plasticitu asfaltu ani bod měknutí, který u těchto parafínů leží kolem 100 °C. Při použití v rozmezí pracovních teplot 130-140 °C zvyšují zpracovatelnost asfaltových směsí a umožňují snížit teplotu hutnění až na 90 °C. Sasobit je parafínový vosk vyráběný společností Sasol. Jde o univerzální přísadu v oblasti asfaltového silničního stavitelství. Používá se celosvětově a úspěšně již od roku 1997. Přidáním Sasobitu do asfaltového pojiva se výrazně zvyšuje kvalita výsledné



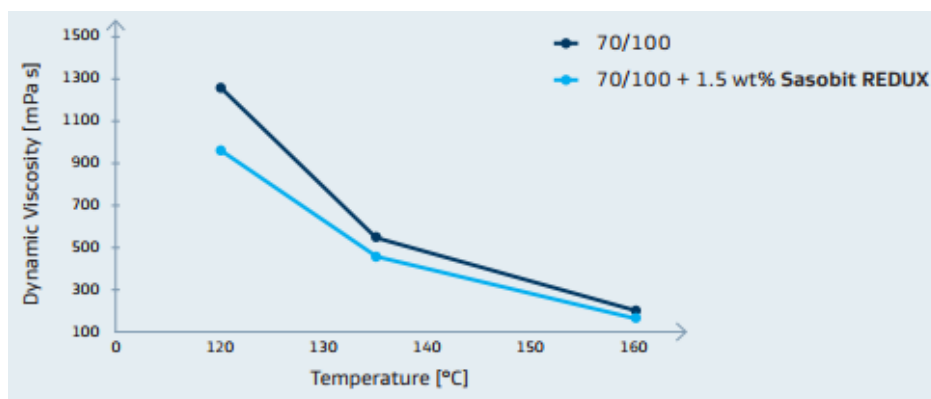
asfaltové směsi, a to i v případě využití asfaltového recyklátu, dochází ke snížení viskozity asfaltové směsi, čímž se zlepšuje zpracovatelnost směsi, dále je umožněno snížení pracovní teploty a zároveň je Sasobit vhodný pro použití i na vozovkách s velkým zatížením. Sasobit se dávkuje v množství od 1,5 do 4,0 % z hmotnosti pojiva, podle účelu aplikace. [13] [10]

Sasobit REDUX umožňuje ještě větší snížení teploty zpracování a pokládky asfaltové směsi, a to až o 30 °C oproti Sasobitu při zachování stejné viskozity. Je přitom zcela rozpustný v asfaltovém pojivu již při teplotách nad 85 °C, zatímco Sasobit až při 110 °C. Na následujícím grafu je znázorněno porovnání běžného nemodifikovaného asfaltového pojiva, pojiva modifikovaného Sasobitem a pojiva modifikovaného Sasobitem REDUX z hlediska závislosti viskozity na teplotě.



Obrázek 26: Porovnání chování běžného asfaltového pojiva bez použití přísad a asfaltového pojiva s přísadou Sasobit a Sasobit REDUX [46]

Přidáním pouhých 1,5 %-hm. Sasobitu REDUX do asfaltového pojiva dojde ke snížení viskozity při standardních teplotách až o 15-20 %, což je patrné z následujícího grafu. [46]

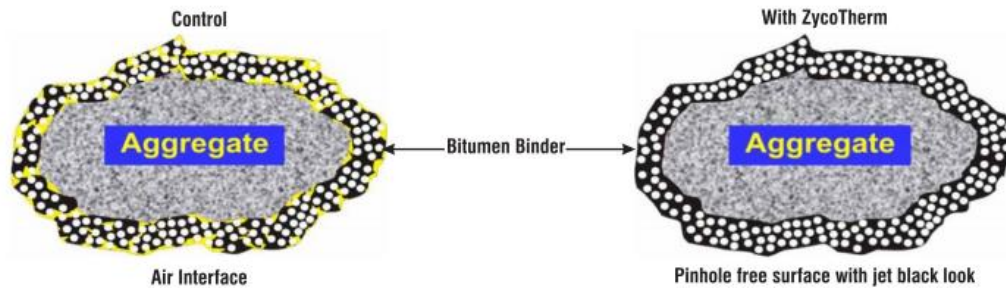


Obrázek 27: Snížení viskozity přidáním modifikátoru Sasobit REDUX [46]



6.2.1.4 Zycotherm

Zycotherm je chemicky reaktivní nanotechnologie. Reaguje s kamenivem a vytváří na něm nepolární hydrofobní povrch, který zlepšuje odolnost proti vlhkosti a zároveň eliminuje vznik vzduchových bublin na povrchu kameniva. Díky tomu dochází ke kompletnímu obalení kameniva asfaltovým pojivem, a je umožněno hutnění při nižších teplotách. Dokonalé obalení kameniva snižuje oxidativní stárnutí, a tak prodlužuje celkovou životnost asfaltové vozovky. Dávkuje se v množství 0,10-0,15 % z celkové hmotnosti asfaltového pojiva. Zycotherm vyvinula společnost Zydex Industries. [13] [47]



Obrázek 28: Porovnání obalení kameniva nemodifikovaným asfaltovým pojivem a asfaltovým pojivem s přísadou Zycotherm [47]

6.2.1.5 PrePhalt SK

PrePhalt SK je produktem společnosti VAN WEEZENBEEK a jde o modifikaci založenou na Fischer-Tropsch voscích. Použitím této přísady je možné snížit pracovní teplotu o 30 °C až 40 °C. [48]

6.2.1.6 Storflux

Storflux je ropný derivát získaný při sekundární rafinaci. Používá se jako změkčovadlo k regeneraci oxidovaného asfaltového pojiva v R-materiálu. Jelikož se jedná o produkt německé firmy STORIMPEX Unternehmensgruppe, je složení a reakce s oxidovaným asfaltovým pojivem výrobním tajemstvím. Storflux patří do skupiny speciálních fluxačních olejů. Dalšími zástupci této skupiny jsou Storflash, Storbit, Storealtic a další. [49] [50]

6.2.1.7 Storbit

Storbit je další z přísad vyvinutých společnostmi STORIMPEX Unternehmensgruppe za účelem využití co nevyššího podílu R-materiálu (až 95 %) v asfaltové směsi. Jde o kombinaci omlazovače asfaltového pojiva Storflux a Fischer-Tropsch vosků společnosti Sasol, tudíž tato přísada slouží jako změkčovadlo (Storflux) a tvrdidlo (vosková složka) současně a na rozdíl od přísady Storflux umožňuje i snížení teploty zpracování asfaltové směsi. [50]



6.2.1.8 Storelastic

Storelastic je novým rozvinutým produktem téže firmy STORIMPEX Unternehmensgruppe a jde o kombinaci tří přísad: pryžového granulátu, Fisher Tropsch vosku a Storfluxu. Pryžový granulát se získává z vybraných použitých pneumatik, je jemně broušený a velmi jemný s velikostí zrna do 0,8 mm. Používají se výhradně pneumatiky z nákladních automobilů, které mají obzvláště vysoký podíl přírodního kaučuku. Co se týče zbylých dvou přísad, stejně jako u Storbitu, vosk slouží jako tužidlo pojiva a Storflux jako změkčovadlo pojiva. Storelastic se dávkuje v množství kolem 10 % z celkového objemu pojiva. Používání asfaltového pojiva modifikovaného touto přísadou je stejné jako u práce s konvenčními asfalty. Jedinou podmínku je, aby proces zhutňování byl dokončen nejpozději při 80 °C. [50] [49]



Obrázek 29: Přísada Storelastic [50]

6.2.2 Shrnutí variant

Shrnutí všech asfaltových směsí včetně použitých nízkoteplotních přísad a odvozených pojiv je uvedeno v tabulce 8. Asfaltové směsi byly pro lepší orientaci označeny #1 až #13, kdy takto jsou jednotlivé varianty charakterizovány ve všech grafech a obrázcích v rámci této diplomové práce. [43]

	směr pokládky	staničení (km)	označení AS	Asfalt	R-mat	Odběr vzorků (km)	Přísada
I. etapa	Vejvanov	1,310 - 1,568	#1	70/100	0	1,409	pěnoasfalt
		0,995 - 1,310	#2	70/100	40	1,260	pěnoasfalt
		0,645 - 0,995	#3	70/100	60	0,680	pěnoasfalt
		0,317 - 0,645	#4	50/70	60	0,387	Sasobit Redux
	Biskoupky	0,000 - 0,317	#5	50/70	60	0,090	Sasobit Redux v pojivu
II. etapa	Biskoupky	2,300 - 2,745	#6	50/70	60	2,665	Storbit
		1,933 - 2,300	#12	70/100	60	2,141	Deurex E11B
		1,600 - 1,933	#13	50/70	60	1,865	Zycotherm
		1,246 - 1,600	#9	50/70	60	1,475	Prephalt SK
		0,946 - 1,246	#7	50/70	60	1,225	Storelastic
		0,629 - 0,946	#8	70/100	60	0,942	Inodur - CIUR
		0,195 - 0,629	#10	50/70	40	0,571	pěnoasfalt
	Terešov	0,000 - 0,195	#11	50/70	60	0,105	pěnoasfalt

Tabulka 8: Shrnutí asfaltových směsí ACL 16 +



Asfaltové směsi byly dále ještě seřazeny z hlediska podobných vstupních materiálů, resp. vhodně porovnatelných variant co do použitého pojiva, přísady nebo množství R-materiálu, viz tabulka 9. Je také vhodné uvést, že přísady u směsí #4, #5, #7, #8 a #12 byly dodávány v pevném skupenství, přísady #6, #9 a #13 ve skupenství kapalném. To má svou důležitost z hlediska možností jejich dávkování přímo na obalovně.

Asfaltová směs	Asfalt	R-mat	Přísada
#1	70/100	0	pěnoasfalt
#2	70/100	40	pěnoasfalt
#3	70/100	60	pěnoasfalt
#8	70/100	60	Inodur - CIUR
#12	70/100	60	Deurex E11B
#10	50/70	40	pěnoasfalt
#11	50/70	60	pěnoasfalt
#4	50/70	60	Sasobit Redux
#5	50/70	60	Sasobit Redux v pojivu
#6	50/70	60	Storbit
#7	50/70	60	Storelastic
#9	50/70	60	Prephalt SK
#13	50/70	60	Zycotherm

Tabulka 9: Členění asfaltových směsí podle podobnosti použitého pojiva či technologie

6.3 Výroba zkušebních těles

Pro dále prezentované laboratorní zkoušky bylo požadované množství asfaltové směsi odebíráno postupně během výstavby a pokládky jednotlivých variant na podzim roku 2016. Z těchto odebraných asfaltových směsí byla poté vyrobena Marshallova tělesa (MT) pomocí rázového zhutňovače (obrázek 30), vždy z každé směsi minimálně šest těles hutněných 2×50 úderů a 6 až 9 těles hutněných 2×25 úderů dle ČSN EN 12697-30 [51]. Dále byly z každé směsi vyrobeny minimálně dvě desky o rozměrech 26×32×5 cm hutněné v lamelovém zhutňovači (obrázek 30) dle ČSN EN 12697-33+A1 [52]. Teplota hutnění všech vyráběných těles byla 130 °C. Tato teplota byla zvolena s ohledem k cílové teplotě při pokládce asfaltové směsi na stavbě.



Obrázek 30: Rázový zhutňovač, lamelový zhutňovač

6.4 Provedené laboratorní zkoušky

U všech variant asfaltové směsi ACL 16 + byly postupně stanoveny následující charakteristiky, a to včetně souvisejícího vyhodnocení provedených zkoušek.

- **Volumetrické vlastnosti** (maximální objemová hmotnost dle ČSN EN 12697-5, objemová hmotnost zhutněného zkušebního Marshallova tělesa dle ČSN EN 12697-6, stanovení mezerovitosti zhutněné asfaltové směsi dle ČSN EN 12697-8);
- **Stanovení pevnosti v příčném tahu** (ITS) dle normy ČSN EN 12697-23 na válcových zkušebních tělesech;
- **Stanovení odolnosti asfaltové směsi proti účinkům vody** dle ČSN EN 12697-12 a **proti účinkům mrazu** dle americké metody uvedené v normě AASHTO T283-3;
- **Stanovení modulu tuhosti** dle ČSN EN 12697-26 na válcových zkušebních tělesech uplatněním nedestruktivní zkoušky opakovaného namáhání v příčném tahu (IT-CY);
- **Stanovení odolnosti proti šíření mrazové trhliny** dle postupu normy ČSN EN 12697-44 (tříbodová ohybová zkouška na půlválcových zkušebních tělesech prováděná při teplotě 0 °C);
- **Stanovení odolnosti proti trvalým deformacím** dle ČSN EN 12697-22+A1 na malém zkušebním zařízení ve vzduchové lázni.

Jelikož asfaltové směsi podléhají v důsledku přirozených vlastností asfaltového pojiva termooxidativnímu stárnutí (degradaci), a tudíž chování ve vozovce je vždy tímto fenoménem ovlivněno, je vhodné a především nezbytné posuzovat vlastnosti asfaltové směsi i z hlediska účinků stárnutí. Proto byla pro vybrané výše popsané zkušební metody zvolena i sada zkušebních těles, která byla vystavena dlouhodobému laboratornímu simulovanému účinku stárnutí a to v souladu s *prEN 12697-52*, kdy se zvolil postup simulovaného stárnutí zhutněných zkušebních těles. Stárnutí bylo prováděno po dobu 5



dní uskladněním zkušebních těles v sušárně s nucenou cirkulací vzduchu při teplotě 85 °C. Na zestárnutých zkušebních tělesech byly stanoveny moduly tuhosti a byly provedeny zkoušky odolnosti proti šíření mrazové trhliny. [53]

6.4.1 Volumetrické vlastnosti

6.4.1.1 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost (ρ_b) byla měřena v souladu s normou ČSN EN 12697-6+A1 [54] na tělesech hutněných 2×50 úderů. Uvedená zkušební norma vymezuje několik různých postupů, jak objemovou hmotnost měřit. V této diplomové práci byl použit postup B: Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD), kdy je objemová hmotnost vypočtena na základě hmotnosti suchého zkušebního tělesa (m_1), hmotnosti nasyceného tělesa ponořeného ve vodní lázni (m_2), hmotnosti tělesa povrchově usušeného vlhkou jelenicí (m_3) a hustoty vody (ρ_w) podle vzorce: [54]

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

6.4.1.2 Stanovení maximální objemové hmotnosti

Maximální objemová hmotnost (ρ_m) se dá definovat jako objemová hmotnost bez vzduchových mezer mezi kamenivem. Proto na základě zjištěných hodnot objemové hmotnosti a maximální objemové hmotnosti lze stanovit mezerovitost asfaltové směsi. Maximální objemová hmotnost byla stanovena dle normy ČSN EN 12697-5+A1 [55]. Byl zvolen postup A: Volumetrický postup, kdy se objem vzorku měří jako objem vody nebo rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru. Jako vzorek byl použit zbytek asfaltové směsi rozmělněný na jednotlivá zrna.

6.4.1.3 Výpočet mezerovitosti

Na základě zjištěné objemové hmotnosti a maximální objemové hmotnosti byla vypočtena mezerovitost pomocí vzorce dle normy ČSN EN 12697-8 [56]:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \cdot 100\%$$

Kde: V_m je mezerovitost s přesností 0,1 %
 ρ_m maximální objemová hmotnost v kg/m³
 ρ_b objemová hmotnost v kg/m³

6.4.1.4 Výsledky volumetrických vlastností

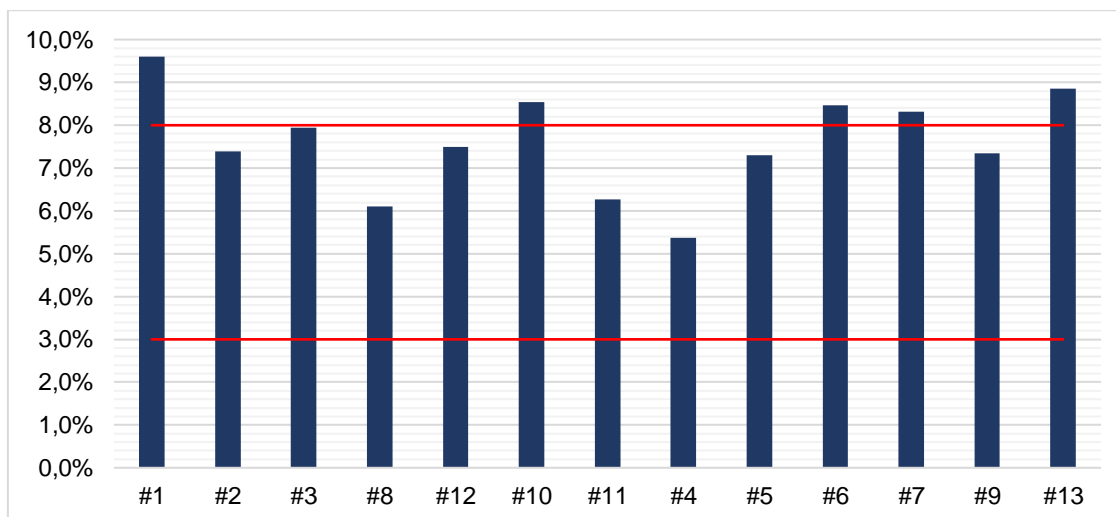
Výsledky zkoumaných volumetrických vlastností lze dobře prezentovat v dále uvedené tabulce 10 a na grafu 1, kde jsou navíc vyneseny meze mezerovitosti pro kontrolní zkoušky (3 %-obj. a 8 %-obj.) u asfaltové směsi ACL 16 + v souladu s požadavky dle ČSN EN 13108-1. Volba mezi kontrolními zkouškami a nikoli zkouškami typu je dána



skutečností, že byly posuzovány asfaltové směsi z výroby odebrané přímo u finišeru během poklady.

Směs	Asfalt	R-mat	Přísada	Objemová hmotnost	Maximální obj.hm.	Mezerovitost
				[g/cm ³]	[g/cm ³]	[%]
#1	70/100	0	pěnoasfalt	2,346	2,596	9,6%
#2	70/100	40	pěnoasfalt	2,393	2,584	7,4%
#3	70/100	60	pěnoasfalt	2,419	2,627	7,9%
#8	70/100	60	Innodur - CIUR	2,432	2,590	6,1%
#12	70/100	60	Deurex E11B	2,391	2,584	7,5%
#10	50/70	40	pěnoasfalt	2,384	2,607	8,5%
#11	50/70	60	pěnoasfalt	2,420	2,583	6,3%
#4	50/70	60	Sasobit Redux	2,453	2,592	5,4%
#5	50/70	60	SR v pojivu	2,419	2,609	7,3%
#6	50/70	60	Storbit	2,328	2,544	8,5%
#7	50/70	60	Storelastic	2,348	2,561	8,3%
#9	50/70	60	Prephalt SK	2,397	2,587	7,3%
#13	50/70	60	Zycotherm	2,352	2,581	8,9%

Tabulka 10: Volumetrické vlastnosti asfaltových směsí



Graf 1: Výsledky mezerovitosti posuzovaných variant

Z grafu je zřejmé, že varianta #1, která jako jediná neobsahuje žádný podíl R-materiálu, vychází z hlediska mezerovitosti nejhůře, což do jisté míry dokládá přínos obsahu R-materiálu v asfaltové směsi, jakkoli porovnání varianty #2 a #3 nevede k závislosti mezi vyšším podílem R-materiálu a mezerovostí. Naopak tento přínos dokládají varianty #10 a #11. Důvodem může být výskyt slepencových zrn s výskytem jemnozrných částic, jež se rozpadají při výrobní teplotě a také přítomnost pojiva v R-materiálu v kombinaci s jeho změkčením při použití některých rejuvenátorů, kdy zejména v porovnání k použití referenční technologie zpěněného asfaltu zjevně dochází k lepšímu vzájemnému stmelení a vyplnění prostoru mezi většími zrny asfaltovou maltou. Z pohledu mezních hodnot pro kontrolní zkoušky parametr maximální mezerovitosti nesplňují vedle varianty #1, také varianty #10, #6, #7 a #13. V případě varianty #13 pro



tento výsledek v tuto chvíli není jasné vysvětlení, protože výsledek příliš nekoresponduje s poznatky například při použití podobného přístupu u asfaltové směsi ACO 11+ s 50 % R-materiálu. V případě varianty #7 může být příčinou přítomnost jemných částic pryže.

Oproti tomu zdaleka nejlepší snížení mezerovitosti přináší varianta směsi #4 s aplikací přísady Sasobit REDUX přidávané přímo do asfaltové směsi. Dále velmi dobrý výsledek přináší i varianta s přísadou na bázi amidového vosku. V obou případech se ukazuje, že při daném složení asfaltové směsi a pracovní teplotě ztuhnutí zkušebních těles se docílí velmi dobré zpracovatelnosti. Z pohledu porovnání vlivu způsobu přidávání jednoho ze zvolených vosků do asfaltové směsi se jako efektivnější jeví uplatnění přímo do asfaltové směsi.

6.4.2 Stanovení pevnosti v příčném tahu (ITS)

Zkouška stanovení pevnosti v příčném tahu dle normy ČSN EN 12697-23 byla prováděna na Marshallových zkušebních tělesech hutněných 2×25 údery. Při této zkoušce je těleso zatěžováno podél středové osy při konstantní rychlosti zatěžování až do okamžiku porušení. Pevnost v příčném tahu ITS je maximální tahové napětí vypočítané z nejvyššího zatížení, které vedlo k porušení, a z rozměrů zkušebního tělesa dle rovnice: [57]

$$ITS = \frac{2P}{\pi DH}$$

kde

ITS je pevnost v příčném tahu [MPa];

P maximální zatížení [N];

D průměr zkušebního tělesa [mm];

H výška zkušebního tělesa [mm].



Obrázek 31: Zkouška stanovení pevnosti v příčném tahu



6.4.3 Stanovení odolnosti asfaltové směsi proti účinkům vody (ITSR)

V rámci této diplomové práce bylo od každé směsi nejprve vyrobeno 6 Marshallových těles hutněných 2×25 údery. Tato tělesa byla následně rozdělena do dvou skupin podle objemové hmotnosti. Jedna skupina těles byla nateperována na 15 °C a zkoušena suchá na pevnost v příčném tahu ITS dle postupu popsaného výše. Druhá skupina těles byla použita na zkoušku odolnosti vůči vodě dle ČSN EN 12697-12. V rámci této diplomové práce bylo postupováno podle metody A. Tělesa se ponořena ve vodě vloží do vakuové komory, kde se během 10 minut vytvoří absolutní tlak (6,7±0,3) kPa. Tělesa zůstanou ve vodě 30 minut, poté se v komoře začne zvolna zvyšovat tlak. Tělesa zůstanou ve vodě dalších 30 minut při normálním tlaku a poté se přendají do vodní lázně o teplotě (40±1) °C na dobu 68 až 72 hodin. Následně se temperují na zkušební teplotu 15 °C ponořena ve vodě. Výsledkem stanovení odolnosti vůči vodě je poměr průměrné pevnosti mokré sady k průměrné pevnosti suché sady ITSR vyjádřený v procentech: [57]

$$ITSR = 100 \cdot \frac{ITS_w}{ITS_d}$$

kde

ITSR je poměr pevnosti v příčném tahu [%];

ITS_w průměrná pevnost v příčném tahu skupiny mokrých zkušebních těles [kPa];

ITS_d průměrná pevnost v příčném tahu skupiny suchých zkušebních těles [kPa].

6.4.4 Stanovení odolnosti asfaltové směsi proti účinkům mrazu

Zkouška odolnosti vůči mrazu je experimentální nenormový postup vycházející z americké normy AASHTO T 283. Podstatou zkoušky je porovnání průměrné pevnosti v příčném tahu sady těles, která byla uložena v mrazící komoře a následně ve vodní lázni s průměrnou pevností těles udržovaných na vzduchu při laboratorní teplotě. Jedná se o americkou modifikaci v Evropě používané ITSR zkoušky, kde je vedle účinku vody ještě vkládán i další klimatický účinek, a sice mráz.

Postup měření je podobný jako u zkoušky odolnosti vůči vodě. Skupina těles se nejdříve sytí obdobným způsobem jako při zkoušce odolnosti vůči vodě dle postupu, který uvádí harmonizovaná ČSN EN 12697-12, jen však po dobu 10 minut. Stejně tak dlouho se poté tělesa nechají odstát bez sníženého tlaku. Po vyjmutí z vody se přemístí do plastových sáčků a přidá se 10 ml vody. Sáčky musí co nejlépe obepínat tělesa, aby byla co nejvíce ponořena. Poté se sáčky s tělesem vloží do mrazící komory s teplotou minimálně -18 °C na 16±1 hodin. Po uplynutí této doby se tělesa vyjmou ze sáčků a vloží se do vodní lázně o teplotě 60 °C a zůstanou v lázni 24±1 hodin. Tělesa se poté temperují na zkušební teplotu pro zkoušku stanovení pevnosti v příčném tahu (ITS). Výsledkem je poměr průměrné pevnosti sady zmrazovaných těles k průměrné pevnosti suché sady ITSR_f vyjádřený v procentech: [58]

$$ITSR_f = 100 \cdot \frac{ITS_f}{ITS_d}$$



kde

$ITSR_f$ je poměr pevnosti v příčném tahu pro zkoušku odolnosti proti účinkům vody dle modifikovaného postupu AASHTO T 283 [%];

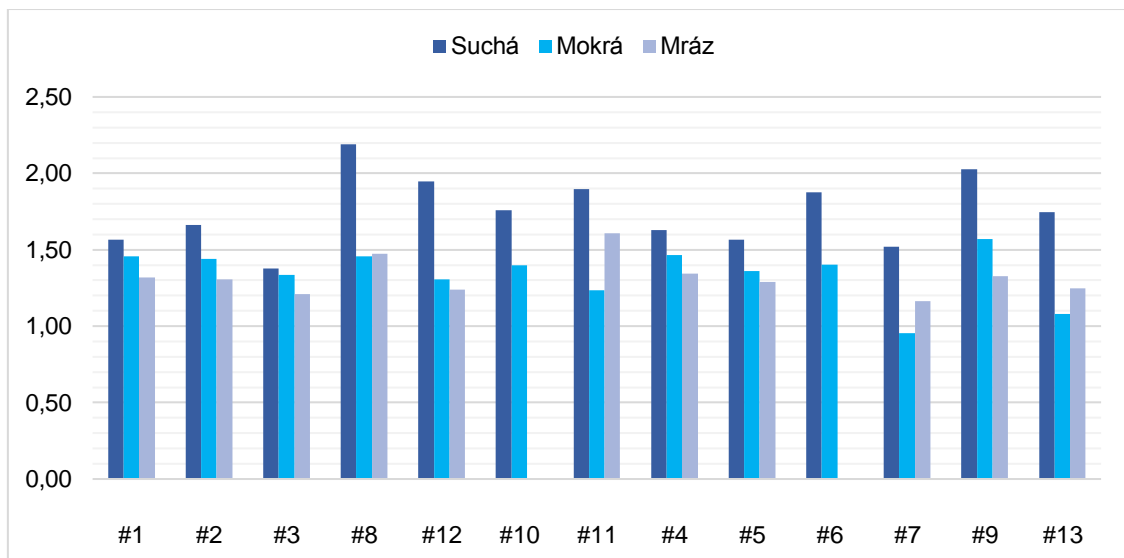
ITS_f průměrná pevnost v příčném tahu skupiny zmrzlých zkušebních těles [kPa];

ITS_d průměrná pevnost v příčném tahu skupiny suchých zkušebních těles [kPa].

Vzhledem k tomu, že nebylo od začátku jasné, zda zbyde dostatek asfaltové směsi pro výrobu dalších tří těles z každé varianty asfaltové směsi ACL 16 + pro zkoušku stanovení odolnosti vůči vodě a mrazu, byla tato tělesa vyrobena až dodatečně, a tudíž nebylo možné dodržet stejnou průměrnou objemovou hmotnost, jako pro zbylé dvě sady zkušebních těles použitých pro stanovení klasického ukazatele $ITSR$. V následující tabulce a grafu je souhrn výsledků zkoušky stanovení pevnosti v příčném tahu včetně odolnosti zkušebních těles vůči vodě a mrazu.

Směs	Asfalt	R-mat	Přísada	Pevnost v příčném tahu [MPa]			$ITSR_w$	$ITSR_f$
				suchá	mokrá	mráz		
#1	70/100	0	pěnoasfalt	1,57	1,46	1,32	93%	84%
#2	70/100	40	pěnoasfalt	1,66	1,44	1,31	87%	79%
#3	70/100	60	pěnoasfalt	1,38	1,34	1,21	97%	88%
#8	70/100	60	Innodur - CIUR	2,19	1,46	1,47	67%	67%
#12	70/100	60	Deurex E11B	1,95	1,31	1,24	67%	64%
#10	50/70	40	pěnoasfalt	1,76	1,40	-	80%	-
#11	50/70	60	pěnoasfalt	1,90	1,24	1,61	65%	85%
#4	50/70	60	Sasobit Redux	1,63	1,47	1,35	90%	83%
#5	50/70	60	SR v pojivu	1,56	1,36	1,29	87%	83%
#6	50/70	60	Storbit	1,87	1,40	-	75%	-
#7	50/70	60	Storelastic	1,52	0,96	1,16	63%	77%
#9	50/70	60	Prephalt SK	2,03	1,57	1,33	78%	65%
#13	50/70	60	Zycotherm	1,75	1,08	1,25	62%	71%

Tabulka 11: Výsledky zkoušky stanovení pevnosti v příčném tahu a odolnosti vůči vodě a mrazu

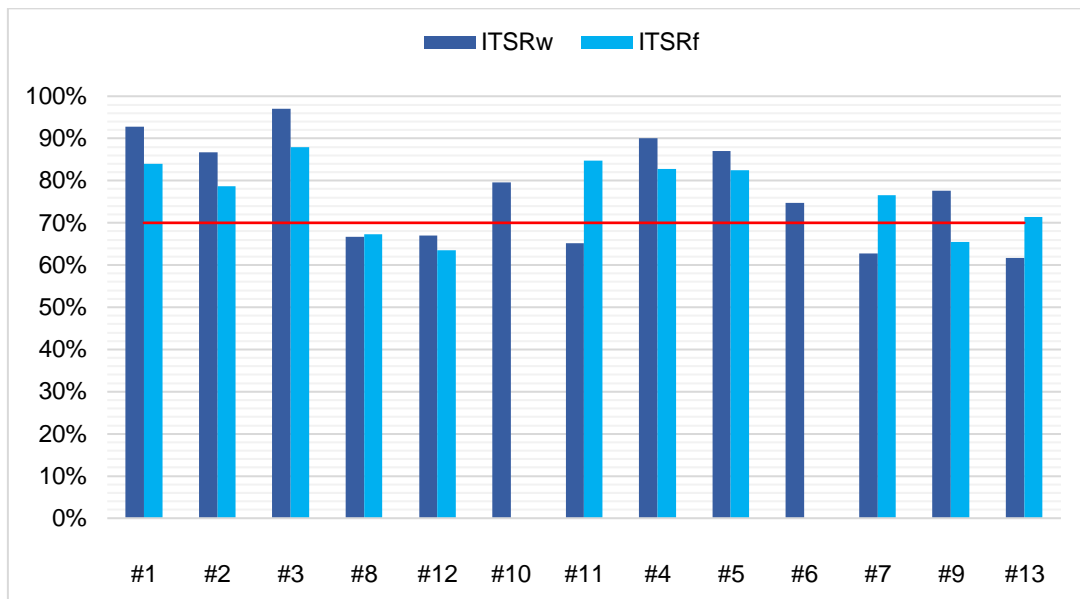


Graf 2: Pevnost v příčném tahu [MPa]



Při porovnání prvních pěti variant obsahujících asfaltové pojivo měkčí gradace (#1, #2, #3, #8, #12) je patrné, že varianty obsahující zpěněný asfalt (#1, #2, #3) vykázaly nižší pevnost v příčném tahu suchých těles, avšak tato pevnost se již příliš nesnížila u těles vystavených působení vody a mrazu, čímž tyto varianty prokázaly relativně vysokou odolnost vůči působení těchto vlivů. Tedy z hlediska ukazatele ITSR vykazují velmi dobré výsledky, které se působením mrazu zhoršují v očekávaném rozsahu, který odpovídá řadě poznatků, jež katedra silničních staveb získala v uplynulých 6-7 letech. Oproti tomu u variant #8 a #12 obsahujících nízkoteplotní přísady Innodur a Deurex došlo k výraznému nárůstu pevnosti v příčném tahu suchých těles, ale odolnost vůči působení vody a mrazu je značně nižší, až o 30 %, což lze považovat za významné zhoršení, které by mělo vést k volbě buď jiného typu kameniva nebo k uplatnění vhodné přílnavostní přísady. Patrné dále je, že vlivem zmrazovacího cyklu již k dalšímu zhoršení charakteristiky odolnosti proti účinku vody nedochází. Při porovnání variant #10 a #11, lišících se pouze množstvím přidaného R-materiálu je patrné, že s vyšším množstvím R-materiálu se dle očekávání zvyšuje pevnost v příčném tahu, avšak dochází současně ke zhoršení odolnosti vůči vodě. Současně se při porovnání s variantami #2 a #3 ukazuje, že použití tvrdšího silničního asfaltu pro výrobu zpěněného asfaltu vedlo k horšímu ukazateli ITSR. Příčinu tohoto jevu lze jen odhadovat, protože se z hlediska původu ropy jednalo o shodný asfalt, vliv tedy může mít zvolená gradace na kvalitu vlastní pěny (její stability), a tudíž i na kvalitu obalení jednotlivých zrn kameniva asfaltovým filmem. Odolnost vůči mrazu není možné posoudit, jelikož u variant #10 a #6 nezbylo dostatečné množství pro výrobu zkušebních těles na tuto zkoušku. Zajímavý je však neočekávaný trend v případě varianty #11, kdy dochází k nárůstu poměrového ukazatele, a tudíž k výraznému zlepšení oproti charakteristice ITSR stanovené dle ČSN EN 12697-12. I v tomto případě se vysvětlení hledá obtížně, důvodem může být opakovaný ohřev asfaltové směsi nebo výše uvedená skutečnost, že se zkušební tělesa pro zkoušku vodní citlivosti dle modifikované americké metodiky vyráběla odděleně, a tedy neproběhlo vyrovnání všech tří sad zkušebních těles z hlediska jejich objemových hmotností.

Velmi dobrých stabilních výsledků dosahovaly varianty #4 a #5 s přísadou Sasobit REDUX. Varianty #6, #9 a #13 dosahovaly vyšších hodnot pevností v příčném tahu suchých těles, ale zároveň relativně nízké úrovně odolnosti vůči působení vody nebo vody a mrazu. Překvapující je celkem nízká hodnota obou ukazatelů u varianty #13, obsahující přísadu Zycotherm, jejímž hlavním přínosem by mělo být dle technické specifikace výrobce přísady dokonalé obalení zrn kameniva asfaltem a tím zlepšení odolnosti vůči účinkům vody. To se, bohužel, nepodařilo u směsi ACL 16 s R-materiálem prokázat. Při porovnání všech posuzovaných variant špatného výsledku dosáhla též varianta #7, obsahující rejuvenátor Storelastic, s průměrnou pevností v příčném tahu suchých těles, ale s nejnižšími pevnostmi mokřích a přemrzlých zkušebních těles. Tento výsledek může souviset s přítomností pryžového granulátu v dané přísadě, a tedy některými v literatuře uvedenými problémy při aplikaci CRmB pojiv v asfaltových směsích, zejména pokud není takové pojivo kvalitně a homogenně promíchané.



Graf 3: Odolnost vůči vodě a vůči vodě a mrazu

Na grafu 3 je zvláště zobrazena odolnost zkušebních těles vůči působení vody (ITSR_w), jakož i vody a mrazu (ITSR_f), vyjádřená v %. Pokud bychom zvolili jako mezní hodnotu 70 %, udávanou pro asfaltové směsi typu ACL 16 + v normě ČSN EN 13108-1, 5 variant (#8, #12, #11, #7 a #13) nevyhoví. Pokud bychom posuzovali odolnost proti účinkům vody a mrazu dle amerického přístupu, potom se v řadě posuzovaných variant potvrzuje obecně sledovaný trend snížení ukazatele ITSR oproti evropskému postupu, tedy účinky působící na zkušební tělesa jsou drastičtější než při delším účinku pouze samotné vody. Výjimkou jsou varianty #11, #7 a #13, kde je výsledek opačný, což jsou zrovna asfaltové směsi, u kterých dle české normy není splněna mezní hodnota 70 %.

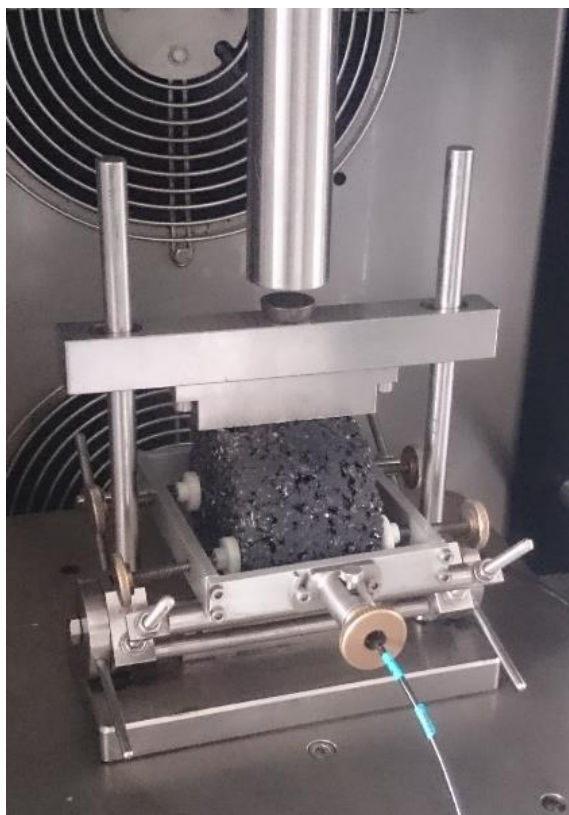
6.4.5 Stanovení modulu tuhosti

Modul tuhosti představuje jednu ze základních deformačních charakteristik asfaltové směsi, která se standardně bere v potaz při dimenzování asfaltových vozovek. Jedná se o charakteristiku, která je přímo porovnatelná s pevností v příčném tahu a do značné míry ji lze porovnávat i s charakteristikami odolnosti proti trvalým deformacím, neboť nedestruktivní formou popisuje obdobné chování a účinek, kterému je asfaltová vrstva vystavena. Samozřejmě rozdílnost spočívá v mnohem menším počtu opakujících se cyklů, jakož i ve skutečnosti, že stanovení tuhosti se provádí výhradně pro střední nebo nižší provozní teploty – při teplotách nad 30 °C je zachycení relevantního výsledku s dobrou reprodukovatelností v mnoha případech již velmi problematické.

Moduly tuhosti byly stanoveny na válcových zkušebních tělesech hutněných 2×50 úderů nedestruktivní metodou opakovaného namáhání v příčném tahu dle normy ČSN EN 12697-26 [59], příloha C (IT-CY). Tato zkouška probíhá ve zkušebním zařízení a funguje na principu opakovaného namáhání v příčném tahu, přičemž se měří příčné horizontální deformace vyvolané zatěžovacím pulzem síly na těleso. V rámci této diplomové práce byla tělesa zkoušena při teplotách 0, 15 a 27 °C. Z naměřených hodnot byla poté pro každou směs spočtena teplotní citlivost, která se určí jako poměr tuhosti při



nejnižší teplotě a tuhosti při nejvyšší teplotě. Čím nižší hodnota je, tím je asfaltová směs z hlediska tuhosti méně náchylná na změny teploty a logicky i účinkům takových teplot bude lépe odolávat.



Obrázek 32: Měření modulu tuhosti pomocí hydraulického zkušebního rámu

Směs	Asfalt	R-mat	Přísada	Modul tuhosti [MPa]			Teplotní citlivost
				0 °C	15 °C	27 °C	
#1	70/100	0	pěnoasfalt	17 838	7 070	2 183	8,2
#2	70/100	40	pěnoasfalt	16 920	7 698	2 811	6,0
#3	70/100	60	pěnoasfalt	17 455	6 509	2 438	7,2
#8	70/100	60	Innodur - CIUR	18 107	8 451	3 452	5,2
#12	70/100	60	Deurex E11B	18 095	8 698	3 268	5,5
#10	50/70	40	pěnoasfalt	16 155	6 991	2 761	5,9
#11	50/70	60	pěnoasfalt	16 512	7 146	2 884	5,7
#4	50/70	60	Sasobit Redux	17 678	7 359	3 025	5,8
#5	50/70	60	SR v pojivu	16 997	8 123	3 200	5,3
#6	50/70	60	Storbit	16 584	8 059	3 483	4,8
#7	50/70	60	Storelastic	13 014	6 658	3 044	4,3
#9	50/70	60	Prephalt SK	18 327	9 359	3 861	4,7
#13	50/70	60	Zycotherm	14 826	7 360	2 878	5,2

Tabulka 12: Souhrn výsledků modulů tuhosti

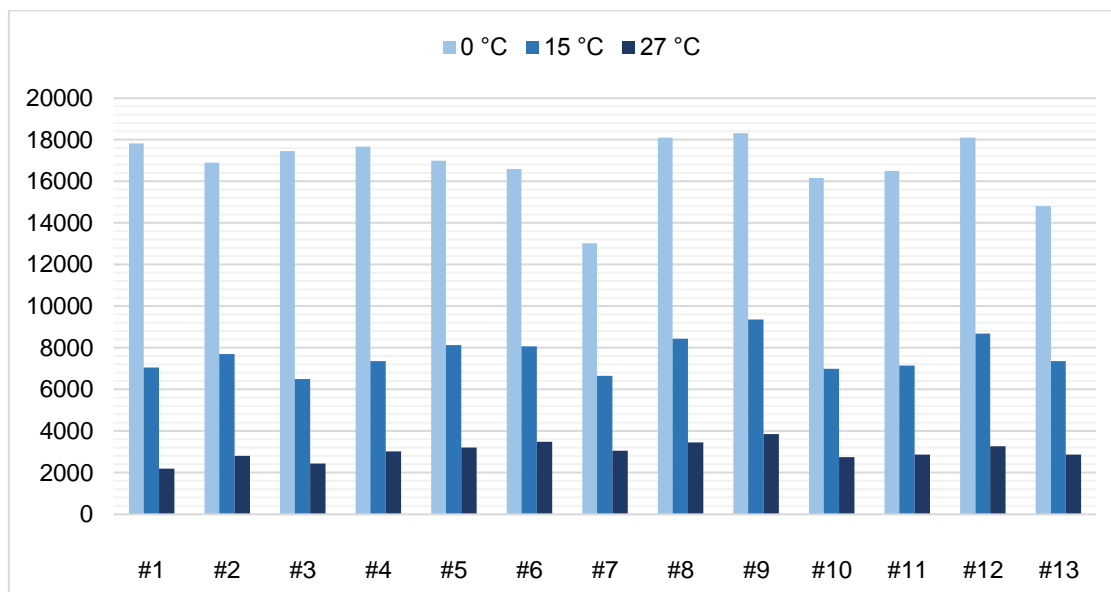
V tabulce 12 je souhrn hodnot modulu tuhosti všech 13 porovnávaných variant asfaltové směsi ACL 16 +, včetně teplotní citlivosti. Výsledek je vždy průměrem z 6



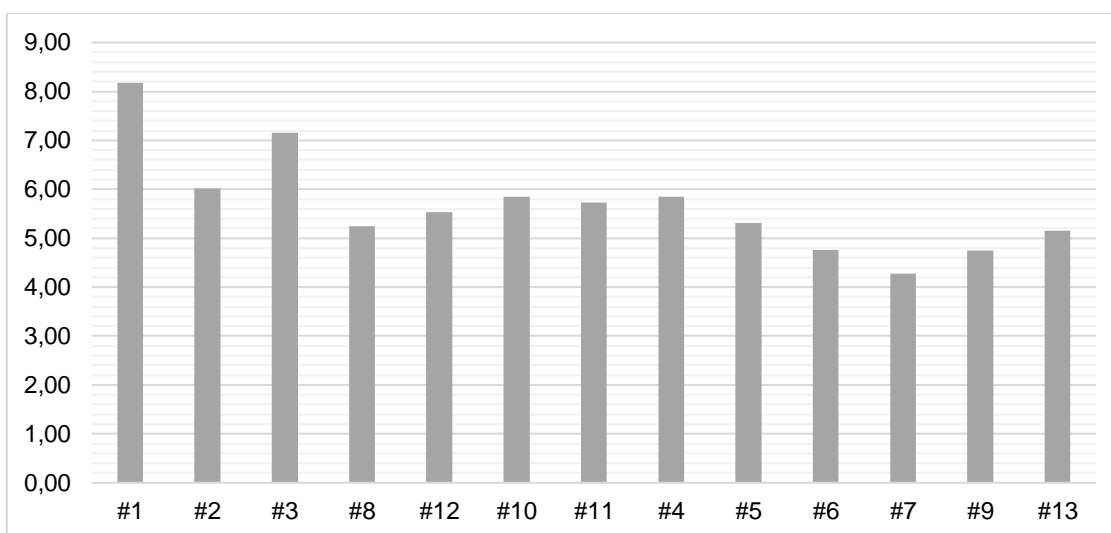
zkušebních těles. Důležitou roli v rozdílech tuhosti mezi jednotlivými variantami asfaltové směsi hraje jednak typ vstupního asfaltového pojiva, dále obsah R-materiálu a v neposlední řadě i různé nízkoteplotní přísady, které byly zkušebním úsekem ověřovány. Z výsledků je patrné, že varianty obsahující zpěněný asfalt (#1, #2, #3, #10, #11) dosahovaly v průměru nižších modulů tuhosti, zejména při teplotě 27 °C, čímž zároveň vykazaly vyšší teplotní citlivost. Při porovnání použitého asfaltového pojiva těchto pěti variant vidíme, že varianty s asfaltovým pojivem měkčí gradace (#1, #2, #3) dosahovaly vyšších modulů tuhosti při nižších teplotách, a naopak nižších modulů tuhosti při teplotě 27 °C, než varianty obsahující pojivo tvrdší gradace (#10, #11), tudíž je vidět výrazný rozdíl v teplotní citlivosti. Zaměříme-li se na hodnoty modulu tuhosti při 15 °C, nelze jednoznačně potvrdit, že vyšší podíl R-materiálu nutně musí vést k vyšší hodnotě modulu. Lze dokonce tvrdit, že všech pět variant je do značné míry obdobných a obecně přítomnost R-materiálu z hlediska tuhosti spíše teplotní citlivost snižuje, což by do jisté míry mělo být vnímáno jako pozitivní vliv.

Jasně patrné je zvýšení tuhosti i snížení teplotní citlivosti přidáním nízkoteplotních přísad, zejména u variant #8, #9 a #12. Zejména v případě prvních dvou uvedených variant výsledek dobře koresponduje s typem použitého vosku (amidový vosk v případě varianty Innodur a první generace FT parafínu u přísady Prephalt SK). U varianty #9 byla naměřena nejvyšší tuhost, zřejmě díky přítomnosti FT parafínu v nízkoteplotní přísadě Prephalt SK. Současně výsledky dobře korespondují se závěry měření pevnosti v příčném tahu, kde tyto asfaltové směsi dosahovaly rovněž velmi dobrých výsledků. Varianty #8 a #12 obsahovaly nízkoteplotní přísady upravující nejen teplotu výroby ale i vlastnosti daných směsí (Deurex, Innodur), tudíž mohlo dojít k nárůstu tuhosti vlivem těchto přísad. Varianty #6 a #7 obsahovaly různé druhy rejuvenátorů kombinované s další přísadou, které v důsledku přítomností rejuvenátoru výrazně přispívají k obnovení některých vlastností zestárlého pojiva v R-materiálu, čímž však dochází ke „změkčení“ asfaltové směsi. Tento vliv je nejvíce patrný u varianty #7, kde se navíc vliv rejuvenátoru kombinuje s přítomností drcené pryže, a tedy s výrazně elastickým účinkem na chování pojiva i asfaltové směsi. V důsledku toho tato varianta dosahovala v průměru nejnižších modulů tuhosti, zejména při teplotě 0 °C. Tento výsledek také odpovídá výsledkům stanovení pevnosti v příčném tahu, kdy tato varianta vyšla rovněž nejhůře. Současně však je třeba vyzdvihnout nízkou teplotní citlivost takové asfaltové směsi. U variant #4 a #5 lze pozorovat průměrný nárůst tuhosti vlivem přísady Sasobit REDUX, přičemž celkově se jako vyváženější jeví aplikace přísady do asfaltového pojiva (tuhosti jsou v obou případech do jisté míry srovnatelné, avšak uplatnění přísady v pojivu vede k nižší teplotní citlivosti asfaltové směsi). V neposlední řadě lze ještě k variantě #13 uvést, že má průměrnou hodnotu tuhosti při teplotě 15 °C a nižší tuhost při teplotě 0 °C, díky čemuž ve výsledku teplotní citlivost této varianty je srovnatelná například s uplatněním amidového vosku ačkoli dosahuje jen 87 % tuhosti varianty #8.

Na následujících grafech jsou graficky znázorněny výsledky popsané výše.



Graf 4: Moduly tuhosti jednotlivých variant při sledovaných teplotách [MPa]



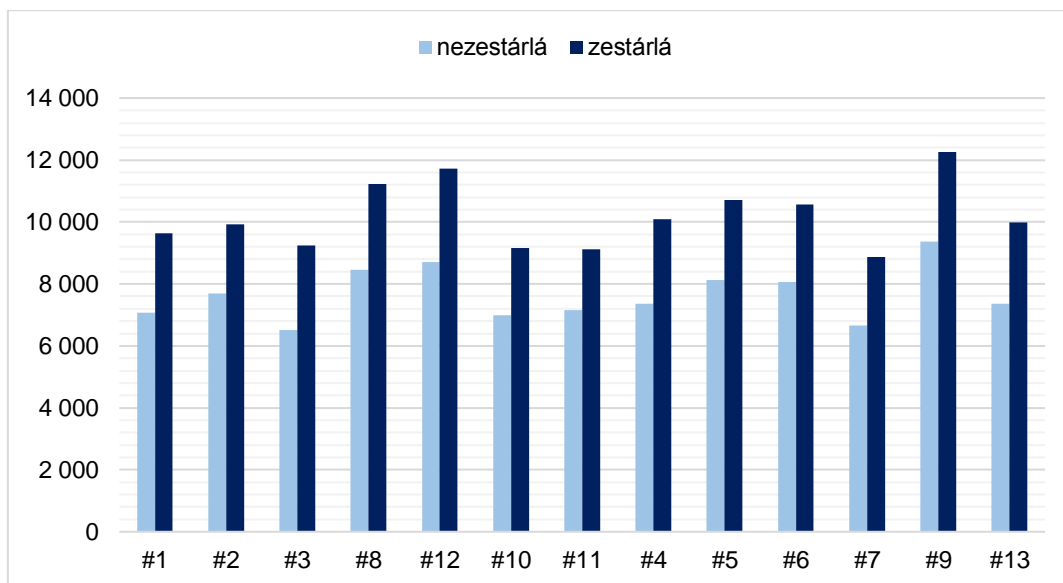
Graf 5: Teplotní citlivost sledovaných variant ACL 16+ [-]

Zkušební tělesa, která prošla zkouškou měření modulu tuhosti při všech teplotách, byla následně pro každou variantu asfaltové směsi ACL 16 + rozdělena do dvou skupin po třech zkušebních tělesech. Jedna skupina těles byla ponechána stranou a připravena na zkoušku stanovení odolnosti proti šíření mrazové trhliny a druhá skupina těles byla vystavena procesu dlouhodobého laboratorního stárnutí v souladu s *prEN 12697-52*. Zvolen byl postup, kdy se v sušárně s nucenou cirkulací vzduchu nechají zkušební tělesa stárnout po dobu 5 dní při teplotě 85 °C. Na těchto tělesech se následně znovu stanovil modul tuhosti při teplotě 15 °C a poměrem zjištěné hodnoty k hodnotě modulu tuhosti nezestárnutých zkušebních těles při stejné teplotě se stanovil tzv. index stárnutí jako jednoduchý poměrový ukazatel vlivu stárnutí na změnu charakteristiky tuhosti. Výsledky jsou shrnuty v následující tabulce a grafech.

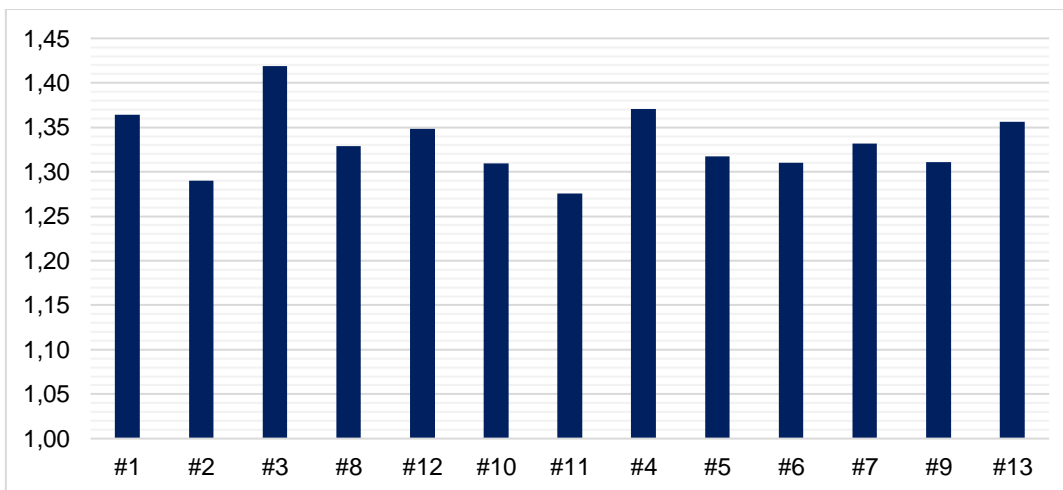


Směs	Asfalt	R-mat	Přístada	Modul tuhosti [MPa]		Index stárnutí
				nezestárlá	zestárlá	
#1	70/100	0	pěnoasfalt	7 070	9 643	1,36
#2	70/100	40	pěnoasfalt	7 698	9 930	1,29
#3	70/100	60	pěnoasfalt	6 509	9 236	1,42
#8	70/100	60	Innodur - CIUR	8 451	11 232	1,33
#12	70/100	60	Deurex E11B	8 698	11 730	1,35
#10	50/70	40	pěnoasfalt	6 991	9 154	1,31
#11	50/70	60	pěnoasfalt	7 146	9 116	1,28
#4	50/70	60	Sasobit Redux	7 359	10 086	1,37
#5	50/70	60	SR v pojivu	8 123	10 703	1,32
#6	50/70	60	Storbit	8 059	10 555	1,31
#7	50/70	60	Storelastic	6 658	8 866	1,33
#9	50/70	60	Prephalt SK	9 359	12 266	1,31
#13	50/70	60	Zycotherm	7 360	9 980	1,36

Tabulka 13: Porovnání výsledků modulů tuhosti zestárlých a nezestárlých zkušebních těles



Graf 6: Moduly tuhosti při 15 °C nezestárlých a zestárlých zkušebních těles



Graf 7: Index stárnutí posuzovaných variant asfaltové směsi ACL 16 +



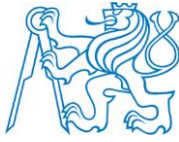
Vlivem procesu stárnutí došlo k navýšení tuhosti u všech asfaltových směsí o 28-42 %, přičemž z porovnání nejsou patrné žádné výraznější výkyvy. Tedy nelze uvést žádný závěr, ze kterého by vyplývalo, že některá z použitých přísad vede k pomalejší degradaci asfaltové směsi vlivem stárnutí. Dokonce nelze ani vysledovat závislost mezi nižším nebo vyšším podílem R-materiálu ve směsi, což dokládá i porovnání variant #3 a #11. Všechny posuzované varianty se chovají obdobně.

6.4.6 Stanovení odolnosti asfaltové směsi proti šíření mrazové trhliny

Při této laboratorní zkoušce se stanovuje odolnost vůči křehkému lomu půlválcového zkušebního tělesa pro hodnocení možného vzniku trhlin při ohybu. Podrobně tuto zkoušku popisuje norma ČSN EN 12697-44. Půlválcová zkušební tělesa vzniknou rozříznutím Marshallových zkušebních těles na polovinu, přičemž norma specifikuje pro provedení zkoušky použití zkušebních těles o průměru 150 mm, která by navíc měla být vyrobena gyrátorem. Před provedením zkoušky je u každého zkušebního tělesa na ploché hraně naříznuta drážka hloubky 10 mm a poté jsou tělesa temperována v klimatické komoře na požadovanou teplotu, kdy lze použít nejen teploty nulové či záporné, nýbrž zkoušku lze provádět i při teplotách vyšších než například 10 °C. Principem zkoušky je zatěžování tělesa ohybem ve třech bodech tak, že střed spodního líce zkušebního tělesa je vystaven napětí v tahu. Nastaví se rychlost zatěžování a měřicí zařízení zaznamenává nárůst síly (F) a svislého posunu (ΔW). V okamžiku porušení vzorku se hodnoty záznamu zastaví a provede se odečet maximální hodnoty síly F_{\max} a svislý posun ΔW_i . Z těchto dvou naměřených hodnot, rozměrů zkušebních těles a dalších vstupních parametrů zkoušky je následně vypočítáno přetvoření ϵ_{\max} , maximální napětí při porušení σ_{\max} a lomová houževnatost K_{Ic} dle rovnic uvedených v normě ČSN EN 12697-44. [60]



Obrázek 33: Zkouška šíření trhliny ohybem



Obrázek 34: Zkušební těleso porušené trhlinou

V rámci této diplomové práce byla od každé varianty asfaltové směsi ACL 16 + použita tři nezestárlá a tři zestárlá Marshallova zkušební tělesa, která již prošla měřením modulu tuhosti při všech teplotách, tudíž vzniklo 6 zkušebních půlválcových těles nezestárlých a 6 zkušebních půlválcových těles zestárlých pro každou variantu asfaltové směsi. Oproti uvedené evropské normě se tak použila zkušební tělesa s průměrem 100 mm, nikoli s průměrem 150 mm. Tělesa nezestárlá byla temperována na teplotu 0 °C a rychlost zatěžování byla nastavena na 5 mm/min. Tělesa zestárlá byla temperována rovněž na teplotu 0 °C, ale rychlost zatěžování byla nastavena na 2,5 mm/min s ohledem ke komplexnímu sledování tohoto typu chování v rámci katedry silničních staveb FSv ČVUT v Praze. Průběh zkoušky byl navíc zaznamenán pomocí dataloggeru ALMEMO (obrázek 35). V tabulkách 14, 15 a na grafu 8 je zobrazen přehled výsledků veličin měřených na obou skupinách zkušebních těles – nezestárlých i zestárlých, přičemž hodnota lomové houževnatosti K_{Ic} byla počítána dle staré verze normy ČSN EN 12697-44 z roku 2011 i dle revize normy z roku 2016 (tedy normy *prEN 12697:2016*). V revidované normě došlo k upřesněním a úpravám v některých výpočtových vzorcích, které obecně vedou k nižším hodnotám lomové houževnatosti.



Obrázek 35: Datalogger ALMEMO



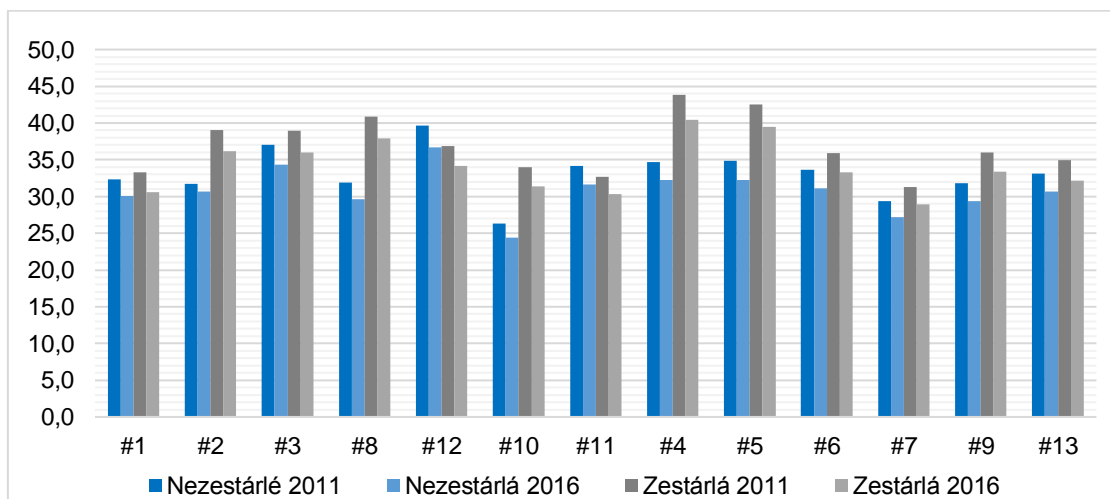
ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb
Nízkoteplotní asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu

Směs	Asfalt	R-mat	Přísada	Přetvoření $\epsilon_{\max,i}$		Napětí při porušení $\sigma_{\max,i}$	
				[%]		[MPa]	
				nezestárlé	zestárlé	nezestárlé	zestárlé
#1	70/100	0	pěnoasfalt	1,19%	1,92%	4,36	4,44
#2	70/100	40	pěnoasfalt	1,19%	1,56%	4,25	5,26
#3	70/100	60	pěnoasfalt	1,42%	2,55%	4,99	5,23
#8	70/100	60	Innodur - CIUR	1,31%	1,36%	4,30	5,49
#12	70/100	60	Deurex E11B	2,08%	1,98%	5,33	4,96
#10	50/70	40	pěnoasfalt	1,56%	1,97%	3,54	4,56
#11	50/70	60	pěnoasfalt	1,80%	1,15%	4,59	4,40
#4	50/70	60	Sasobit Redux	1,73%	1,42%	4,67	5,87
#5	50/70	60	SR v pojivu	1,18%	1,52%	4,68	5,73
#6	50/70	60	Storbit	1,54%	1,39%	4,51	4,83
#7	50/70	60	Storelastic	1,70%	1,66%	3,94	4,20
#9	50/70	60	Prephalt SK	1,58%	1,68%	4,26	4,84
#13	50/70	60	Zycotherm	1,16%	1,66%	4,46	4,67

Tabulka 14: Výsledky zkoušky šíření trhliny ohybem (přetvoření při porušení ϵ_{\max} , napětí při porušení σ_{\max})

Směs	Lomová houževnatost $K_{Ic,i}$ (EN 2011)		Index stárnutí	Lomová houževnatost $K_{Ic,i}$ (EN 2016)		Index stárnutí
	[N/mm ^{3/2}]			[N/mm ^{3/2}]		
	nezestárlé	zestárlé	[%]	nezestárlé	zestárlé	[%]
#1	32,4	33,2	102,7%	30,0	30,6	101,8%
#2	31,7	39,0	123,1%	30,7	36,2	118,1%
#3	37,1	39,0	105,2%	34,4	36,0	104,8%
#8	31,9	40,9	128,2%	29,6	37,9	127,7%
#12	39,6	36,9	93,2%	36,7	34,1	93,0%
#10	26,3	33,9	128,9%	24,4	31,4	128,5%
#11	34,2	32,7	95,5%	31,7	30,3	95,8%
#4	34,7	43,8	126,3%	32,2	40,5	125,6%
#5	34,9	42,5	121,9%	32,3	39,5	122,4%
#6	33,6	35,9	106,9%	31,1	33,3	106,9%
#7	29,3	31,3	106,6%	27,1	29,0	106,6%
#9	31,8	36,0	113,3%	29,4	33,3	113,4%
#13	33,1	34,9	105,4%	30,7	32,2	104,8%

Tabulka 15: Výsledky zkoušky šíření trhliny ohybem (lomová houževnatost K_{Ic})



Graf 8: Lomová houževnatost K_{Ic} [N/mm^{3/2}]



Zaměříme-li se na vlastnost, která nás v rámci této zkoušky zajímá nejvíce, tedy na lomovou houževnatost, je na první pohled zřejmé, že téměř u všech variant došlo ke zvýšení lomové houževnatosti v důsledku simulovaného stárnutí, v průměru o 15 %, přičemž k největšímu nárůstu lomové houževnatosti vlivem stárnutí došlo u variant s přísadou Sasobit REDUX (#4 a #5) a u varianty #8 s přísadou Innodur. Tento výsledek není jednoduše vysvětlitelný, současně by se z něho dalo usuzovat, že nízkoteplotní asfaltové směsi s amidovým či FT voskem nemají sklon k horšímu chování v oboru nízkých teplot. Když mezi sebou porovnáme směsi obsahující zpěněný asfalt (#1, #2, #3) a (#10, #11), lze pozorovat mírný nárůst lomové houževnatosti se zvyšujícím se obsahem R-materiálu. I toto je jiný trend, než by se pro danou závislost očekával. Poměrně nízké lomové houževnatosti dosáhly varianty obsahující rejuvenátory Storbite a Storelastic (#6, #7). Při porovnání výsledků dle starší normy z roku 2011 a dle revize z roku 2016, je patrný mírný pokles (7-8 %) všech kritických hodnot lomové houževnatosti při porovnání výsledků výpočtu dle revize normy z roku 2016. Tento trend potvrzuje výsledky, které byly v minulosti již v silniční laboratoři Fakulty stavební ČVUT v Praze opakovaně potvrzeny.

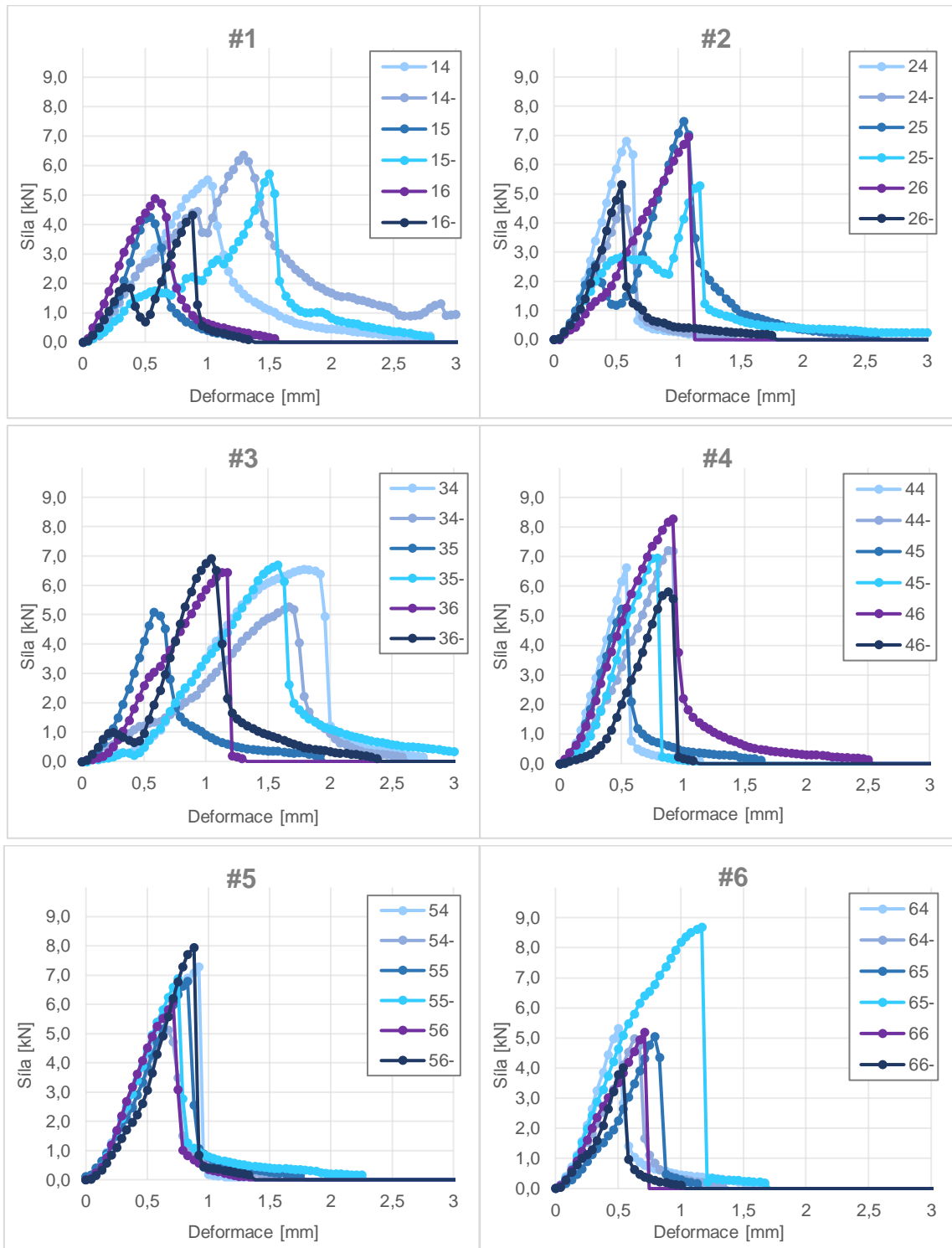
Jak již bylo uvedeno výše, průběh této zkoušky byl u zestárých zkušebních těles zaznamenán pomocí dataloggeru ALMEMO, který umožnil zachytit až 20 záznamů za sekundu. Během zkoušky byl zaznamenán průběh síly a deformace v čase, přičemž na rozdíl od měření bez dataloggeru bylo možné zaznamenat nejen průběh do vzniku první trhliny/iniciace trhliny (do maximální síly), ale i průběh do úplného prokopírování trhliny a celkového kolapsu zkušebního tělesa. Z naměřených hodnot byla následně kromě výše zmíněných charakteristik určena ještě lomová energie, definovaná s využitím J-integrálu jako plocha pod pracovním diagramem vymezeným průběhem přetvoření a síly. Lomová energie byla pro potřeby dalšího analytického hodnocení stanovena pro maximální sílu při porušení tělesa a následně i pro celý pracovní diagram do kolapsu zkušebního tělesa, který je na svém konci omezen okamžikem, kdy působící síla poklesne na úroveň nižší než 0,1 kN. Tato mezní hodnota byla katedrou silničních staveb zvolena již dříve jako hranice, po kterou má smysl stanovovat výpočtem plochu pod celým pracovním diagramem. Tento postup umožnil výpočet celkové práce pro celkové porušení zkušebního tělesa trhlinou, popř. pro vznik první trhliny. Ze spočítané práce se poté mohla dopočítat lomová energie. [43] Výsledky získané pomocí dataloggeru ALMEMO jsou shrnuty v následující tabulce 16.

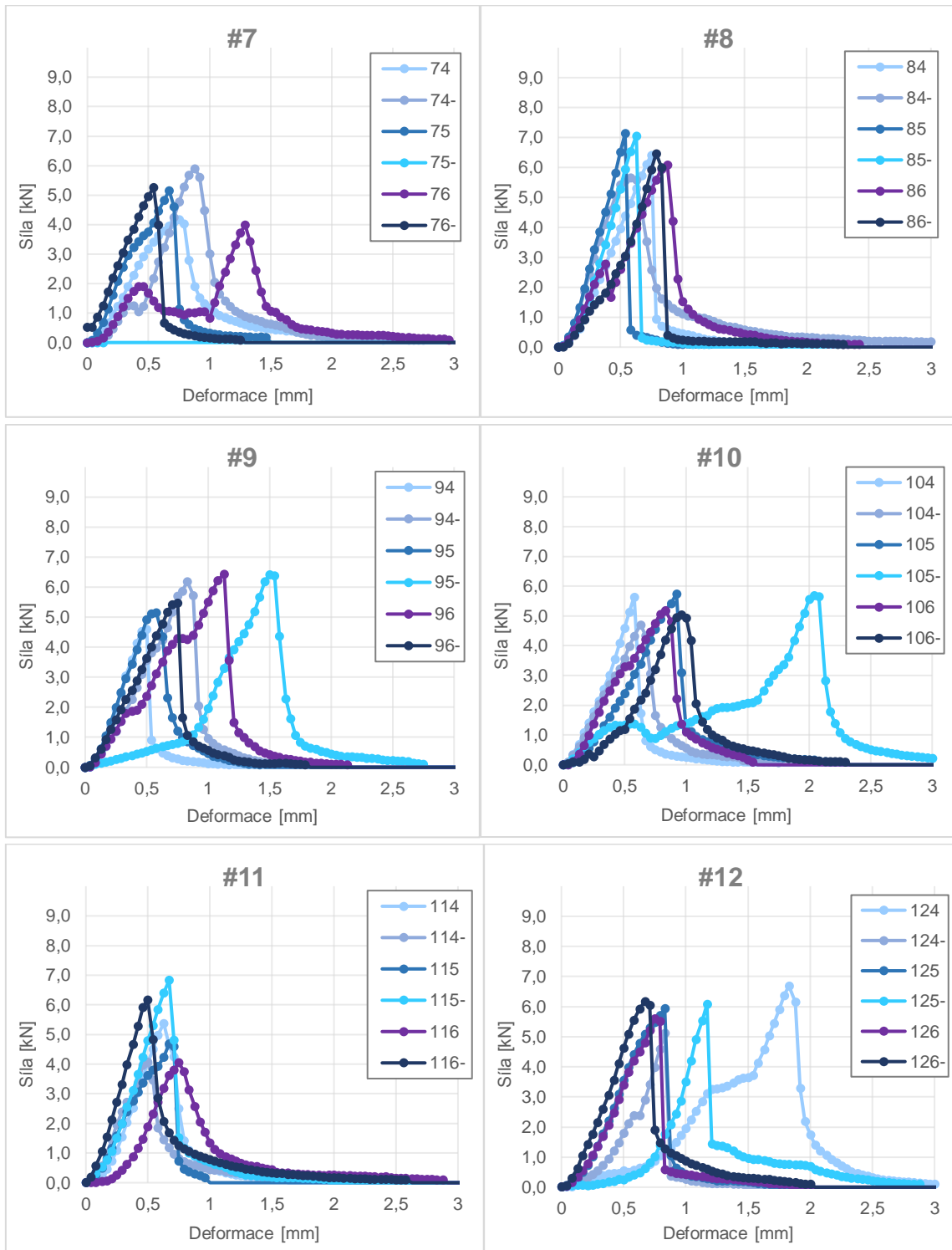
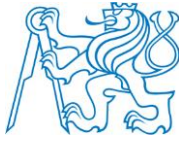


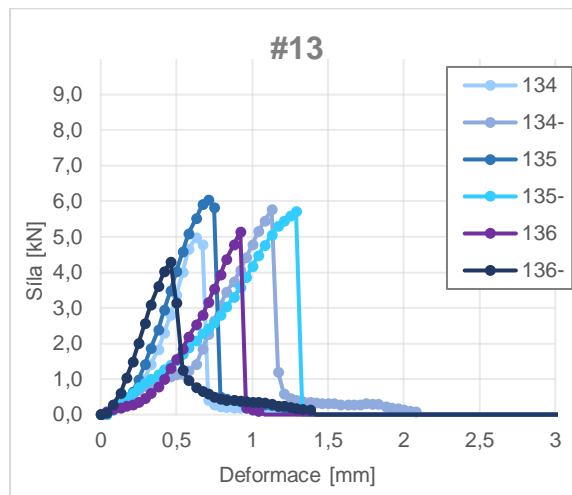
Směs	Přetvoření	Max. síla	Lomová houževnatost (EN 2011)	Práce do max.	Lomová energie do max.	Práce	Lomová energie
	[mm]	[kN]	[N/mm ^{3/2}]	[J]	[kJ/m ²]	[J]	[kJ/m ²]
#1	0,9	5,2	33,2	2,2	1,2	3,9	2,0
#2	0,8	6,1	39,0	1,9	1,0	3,0	1,6
#3	1,2	6,2	39,0	3,3	1,7	4,7	2,4
#8	0,7	6,6	40,9	1,9	1,0	2,8	1,4
#12	1,0	5,9	36,9	2,1	1,1	2,9	1,5
#10	1,0	5,4	33,9	2,0	1,1	2,9	1,5
#11	0,6	5,2	32,7	1,2	0,6	2,2	1,1
#4	0,7	6,7	43,8	2,0	1,1	2,7	1,5
#5	0,7	6,7	42,5	2,3	1,2	3,0	1,6
#6	0,7	5,6	35,9	1,9	1,0	2,5	1,3
#7	0,8	5,0	31,3	1,7	0,9	2,8	1,4
#9	0,8	5,8	36,0	2,0	1,0	2,9	1,5
#13	0,8	5,3	34,9	1,7	0,9	2,2	1,2

Tabulka 16: Výsledky zkoušky šíření trhliny ohybem u zestárých těles pomocí dataloggeru ALMEMO

Z výsledků je patrné, že ne vždy vyšší hodnota lomové houževnatosti musí nutně odpovídat vyšší hodnotě lomové energie. Zaměříme-li se například na varianty #2 a #3, které mají stejnou hodnotu lomové houževnatosti, je patrné, že varianta #3 potřebuje mnohem větší energii, aby se daná trhlina vytvořila, ale aby došlo též k celkovému kolapsu zkušebního tělesa. Znamená to, že silový účinek, resp. mezní síla, při které se tělesa poruší, bude stejná, avšak varianta #3 se musí deformovat déle, aby ke vzniku trhliny došlo. Stejně chování lze pozorovat i u variant #1 a #11. Při porovnání lomové energie všech 13 zkoumaných variant, nejlépe vyšla varianta #3, následovaná variantou #1 a #2, tedy varianty se zpěněným asfaltem a pojivem vyšší gradace – zde je indikován možný vliv tuhosti asfaltového pojiva na chování asfaltové směsi v oboru nízkých teplot. Naopak nejhůře vyšla varianta směsi #11, následovaná variantami #13 a #6. První z uvedených variant potvrzuje předešlou domněnku, pro variantu s použitím kombinované přísady Storbit není v tuto chvíli vysvětlení horšího výsledku a u varianty poslední (s přísadou Zycotherm) se jedná spíše o překvapující a neočekávaný výsledek. Všechny získané křivky jsou zobrazeny na následujících grafech. Ty dokládají též značnou rozkolísanost jednotlivých měření a díky tomu odůvodňují smysluplnost používání většího počtu zkušebních těles pro provedení zkoušky odolnosti asfaltové směsi proti šíření trhliny.







Graf 9: Pracovní diagramy asfaltových směsí #1 - #13

6.4.7 Stanovení odolnosti proti trvalým deformacím

Během této tradiční zkoušky asfaltových směsí se zjišťuje její náchylnost ke vzniku trvalých deformací. Měří se hloubka vyjeté koleje vzniklé opakovaným pojezdem zatíženého kola při stálé teplotě. Zkouška je detailně popsána v normě ČSN EN 12697-22+A1 a provádí se na laboratorně vyrobených deskách o plošných rozměrech 26 × 32 cm. Tloušťka desky se volí v závislosti na velikosti maximálního zrna použitého kameniva. Průběh celé zkoušky včetně měření vyjeté koleje je plně automatizovaný. Každé zkušební těleso je zatěžováno 10 000 zatěžovacími cykly, což je 20 000 pojezdů. Po dosažení této hodnoty se zkouška ukončí. Výsledkem zkoušky je průměrná hloubka vyjeté koleje po 10 000 zatěžovacích cyklech PRD_{AIR} vyjádřená v % jako proporcionální hodnota a přírůstek hloubky vyjeté koleje WTS_{AIR} vyjádřený v mm na 1000 zatěžovacích cyklů. [61]



Obrázek 36: Zkušební zařízení pro poježdění desek



Pro každou z posuzovaných variant asfaltové směsi byly laboratorně vyrobeny 2 zkušební desky o rozměrech 32 × 26 × 5 cm. Množství směsi potřebné na výrobu jedné desky bylo vypočítáno z objemové hmotnosti Marshallových zkušebních těles a požadovaných rozměrů desky. U každé desky byla změřena výška, jejíž hodnota odpovídala průměru z šesti měření. Dále byla stanovena objemová hmotnost desky dle ČSN-EN 12697-6 měřeními na vzduchu a ve vodě. Porovnáním objemové hmotnosti zkušební desky a zkušebního Marshallova tělesa ze stejné směsi byla zjištěna míra zhutnění [%]. Průměrné hodnoty objemových hmotností i míra zhutnění desek jednotlivých variant jsou zobrazeny v následující tabulce. Z výsledků je patrné mírné přehutnění většiny zkušebních desek.

Směs	Výška desky	Objemová hmotnost	Objemová hm. MT	Míra zhutnění
	[mm]	[g.cm ⁻³]	[g.cm ⁻³]	[%]
#1	50,3	2,377	2,346	101,3%
#2	50,2	2,423	2,393	101,3%
#3	50,6	2,458	2,419	101,6%
#8	50,2	2,450	2,432	100,7%
#12	50,0	2,422	2,391	101,3%
#10	51,0	2,419	2,384	101,5%
#11	50,0	2,431	2,420	100,8%
#4	50,4	2,458	2,453	100,2%
#5	50,3	2,465	2,419	101,9%
#6	49,9	2,377	2,328	102,1%
#7	50,6	2,377	2,348	101,2%
#9	50,7	2,418	2,397	100,9%
#13	49,9	2,406	2,352	102,3%

Tabulka 17: Objemová hmotnost a míra zhutnění zkušebních desek

Před začátkem zkoušky byly upevněné zkušební desky natemperovány ve zkušebním zařízení pro pojíždění kolem na teplotu 50 °C a následně zatíženy 10 000 zatěžovacími cykly, tedy 20 000 pojezdy. Výsledky zkoušky – hloubka vyjeté koleje d v mm, přírůstek hloubky vyjeté koleje WTS_{AIR} vyjádřený v mm na 1000 zatěžovacích cyklů a průměrná hloubka vyjeté koleje PRD_{AIR} vyjádřená v % - jsou uvedeny v následující tabulce a v grafech.

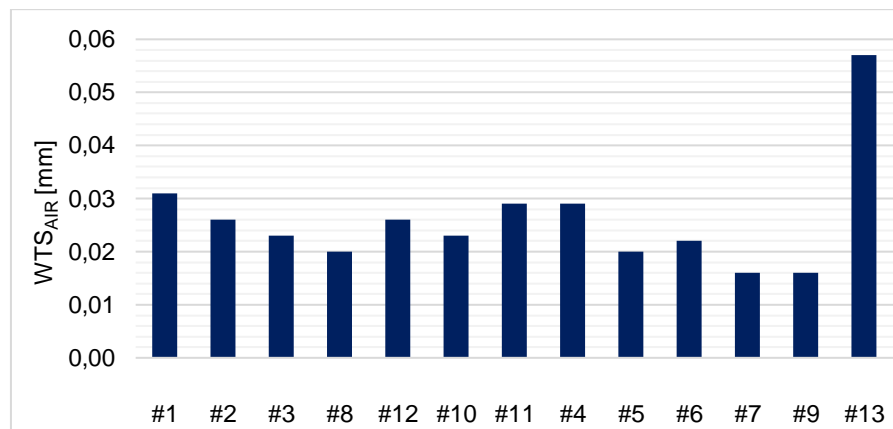


ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb

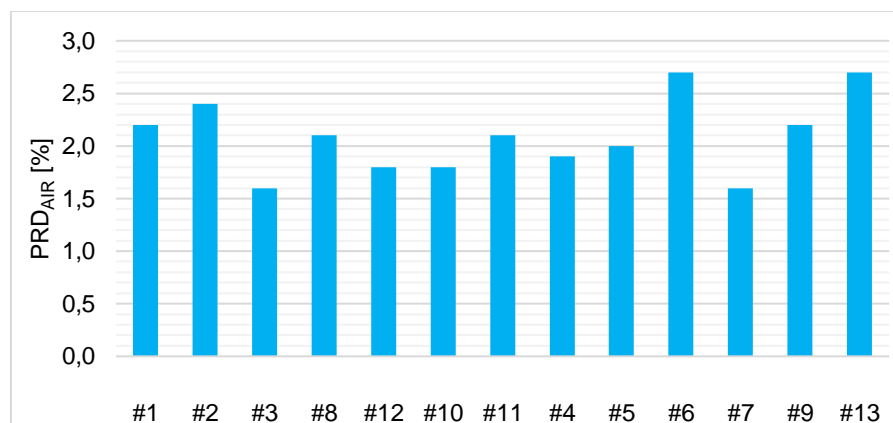
Nízkoteplotní asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu

Směs	Asfalt	R-mat	Přístada	$d_{10\,000}$ [mm]	WTS_{AIR} [mm]	PRD_{AIR} [%]
#1	70/100	0	pěnoasfalt	1,27	0,031	2,20
#2	70/100	40	pěnoasfalt	1,36	0,026	2,40
#3	70/100	60	pěnoasfalt	0,94	0,023	1,60
#8	70/100	60	Innodur - CIUR	1,15	0,020	2,10
#12	70/100	60	Deurex E11B	1,05	0,026	1,80
#10	50/70	40	pěnoasfalt	1,04	0,023	1,80
#11	50/70	60	pěnoasfalt	1,18	0,029	2,10
#4	50/70	60	Sasobit Redux	1,10	0,029	1,90
#5	50/70	60	SR v pojivu	1,09	0,020	2,00
#6	50/70	60	Storbit	1,45	0,022	2,70
#7	50/70	60	Storelastic	0,87	0,016	1,60
#9	50/70	60	Prephalt SK	1,22	0,016	2,20
#13	50/70	60	Zycotherm	1,65	0,057	2,70

Tabulka 18: Výsledky zkoušky stanovení odolnosti proti trvalým deformacím



Graf 10: Přírůstek hloubky vyjeté koleje



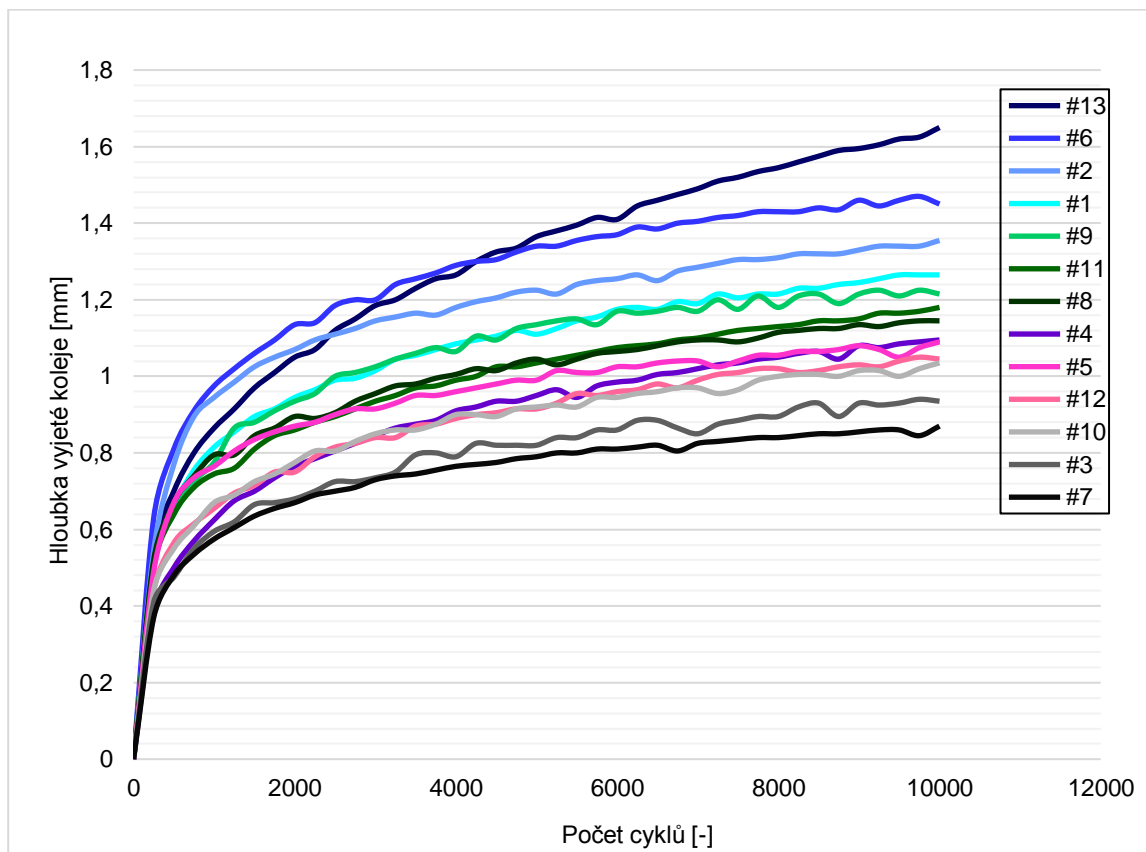
Graf 11: Průměrná hloubka vyjeté koleje

Z výsledků je patrné, že nejlepší odolnosti proti tvorbě trvalých deformací dosáhly varianty #7 (Storelastic), #8 (Innodur) a #9 (Prephalt SK), přičemž varianta #7 s přísadou Storelastic obsahující pryžový granulát dosáhla nejnižší hodnoty u obou sledovaných parametrů. Za tímto výsledkem může stát právě přítomnost pryže, která do jisté míry funguje jako modifikační činidlo a tím se odlišuje od všech zbývajících variant,



kde mohou sice některé přísady na bázi syntetických vosků mít ztužující účinek, ale pořád se primárně bude jednat o přísady určené ke snížení pracovní teploty během výroby a pokládky asfaltové směsi. Tento výsledek však příliš nekorresponduje s výsledky měření modulu tuhosti a pevnosti v příčném tahu, kde tato varianta vyšla naopak nejhůře. Jednoznačně nejhoršího výsledku dosáhla varianta #13 s nanotechnologickou přísadou Zycotherm, následována variantami #1, #11 a #4. Při porovnání variant #1, #2 a #3, lišících se pouze množstvím přidaného R-materiálu, je z první zkoumané charakteristiky jasně patrný očekávaný trend zvyšující se odolnosti proti trvalým deformacím s vyšším množstvím přidávaného R-materiálu, a ještě větší zlepšení při použití amidového vosku Innodur (varianta #8).

Obecně lze říci, že všechny asfaltové směsi vykazují i při použití vyššího množství R-materiálu velmi dobrou odolnost proti vzniku trvalé deformace. Jednotlivé průběhy vývoje trvalé deformace během 10 000 cyklů jsou pro přehlednost graficky uvedeny na grafu 12.



Graf 12: Průběhy zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím



Závěr

Cílem této diplomové práce bylo ověření chování 13 variant nízkoteplotní asfaltové směsi ACL 16 + s využitím vyššího podílu R-materiálu. Ověření mělo být provedeno s využitím širšího spektra funkčních zkoušek. Tyto varianty se lišily v množství přidávaného R-materiálu, v gradaci použitého asfaltového pojiva a v aplikaci různých přidávaných nízkoteplotních přísad. V průběhu pokládky těchto asfaltových směsí, která byla realizovaná na podzim roku 2016 společností Froněk, s.r.o. bylo od každé varianty odebráno potřebné množství asfaltové směsi, z něhož byla v rámci této diplomové práce vyrobena zkušební tělesa. Tato zkušební tělesa byla podrobena několika laboratorním zkouškám, jejichž výsledky bych zde ráda shrnula.

Z hlediska zkoumaných volumetrických vlastností, kdy hlavním posuzovaným parametrem je mezerovitost asfaltové směsi, bylo zjištěno, že varianta #1, která jako jediná neobsahovala žádný podíl R-materiálu, vyšla co do mezerovitosti nejhůře, což do jisté míry prokázalo pozitivní vliv obsahu R-materiálu v asfaltové směsi. Oproti tomu zdaleka nejlepší snížení mezerovitosti přinesla varianta #4, s obsahem 60 % R-materiálu s využitím aplikace Fisher-Tropsch vosku Sasobit REDUX. Provedením zkoušky stanovení pevnosti v příčném tahu naopak varianta #1 dosahovala velmi stabilních výsledků, stejně jako další dvě varianty #2 a #3, lišící se pouze množstvím přidaného R-materiálu. Tyto tři směsi, obsahující zpěněný asfalt a pojivo měkčí gradace, rovněž dosáhly nejlepších výsledků u stanovení odolnosti asfaltové směsi vůči vodě a mrazu. Velmi vysoký nárůst pevnosti v příčném tahu vykázaly varianty #8 a #12 obsahující nízkoteplotní přísady Innodur a Deurex, avšak přidaných 60 % R-materiálu bylo zřejmě příčinou poklesu odolnosti směsi vůči působení vody. Překvapivě velmi nízké odolnosti vůči vodě a mrazu dosáhla varianta asfaltové směsi #13, obsahující přísadu Zycotherm, jejímž hlavním přínosem by mělo být dokonalé obalení zrn kameniva asfaltem a tím zlepšení odolnosti vůči vlhkosti. Získané výsledky bylo možné následně porovnat s výsledky zkoušky stanovení modulu tuhosti, jelikož tyto dvě charakteristiky by měly být přímo porovnatelné. Tuto skutečnost potvrdily zejména varianty #8 a #12, které dosahovaly vysokých modulů tuhosti při všech měřených teplotách. Vysoké tuhosti dosáhla i varianta #9 s nízkoteplotní přísadou Prephalt SK na bázi Fischer-Tropsch vosků. Nejhůře v této zkoušce vyšla varianta směsi #7, obsahující rejuvenátor Storelastic, která dosahovala v průměru nejnižších modulů tuhosti, zejména při teplotě 0 °C. Tento výsledek také odpovídá výsledkům stanovení pevnosti v příčném tahu, kdy tato varianta vyšla rovněž nejhůře. Další zkoumanou charakteristikou byla odolnost asfaltové směsi proti šíření mrazové trhliny, vyjádřená konkrétně lomovou houževnatostí při teplotě 0 °C. Zde bylo možné při porovnání variant se zpěněným asfaltem (#1, #2, #3 a #10, #11) pozorovat mírný nárůst lomové houževnatosti se zvyšujícím se obsahem R-materiálu. Nejlepších výsledků dosáhla varianta #12 s nízkoteplotní přísadou Deurex. U této, i předchozí popsané zkoušky, tedy stanovení modulu tuhosti, byla vždy vybrána skupina těles, která byla vystavena procesu dlouhodobého laboratorního stárnutí. Při porovnání výsledků nezestárých a zestárých těles byl zaznamenán nárůst modulu tuhosti zestárých těles v průměru o 30 % - 40 % a nárůst lomové houževnatosti v průměru o 15 %. Poslední prováděnou zkouškou v rámci této diplomové práce bylo stanovení odolnosti proti trvalým deformacím. Zde dosáhla nejlepších výsledků směs #7 s přísadou



Storelastic, obsahující pryžový granulát. Následovaly varianty #8 (amidový vosk Innodur) a #9 (Prephalt SK, vosk na bázi FT parafínu). Při porovnání variant #1, #2, #3 byl opět zřetelný nárůst odolnosti proti trvalým deformacím s rostoucím množstvím přidaného R-materiálu. Nejhoršího výsledku dosáhla směs #13 s nanotechnologickou přísadou Zycotherm.

Ze zjištěných výsledků je patrné, že přítomnost R-materiálu v asfaltové směsi nijak nezhoršuje její kvalitu, naopak může mít pozitivní vliv na některé charakteristiky. Jako velmi vhodné se ukázalo zkombinování R-materiálu a nízkoteplotních přísad, zejména amidového vosku Innodur a PE vosku Deurex. Varianty se zpěněným asfaltem dosahovaly také velmi příznivých výsledků, zejména z hlediska odolnosti asfaltové směsi vůči účinkům vody. Při porovnání dvou variant, obsahujících přísadu Sasobit Redux, se při porovnání všech provedených zkoušek jeví jako mírně efektivnější uplatnění přímo do asfaltové směsi. Očekávání zcela nenaplnila varianta #13 s přísadou Zycotherm, která dosahovala podprůměrných výsledků téměř u všech provedených zkoušek.

Obecně si myslím, že trend snižování teploty při výrobě i pokládce asfaltových směsí má velkou budoucnost, stejně jako využívání vyššího množství R-materiálu. Při kombinaci těchto dvou technologií je s ohledem na sledované parametry možné dodržet požadovanou kvalitu, srovnatelnou s běžnými za horka prováděnými asfaltovými směsmi, a to vše při energetické i ekonomické úspoře, včetně významného snížení dopadů na životní prostředí.



Seznam použité literatury

1. Zpráva pro světovou komisi OSN pro životní prostředí a rozvoj (WCED). *Naše společná budoucnost*. 1987.
2. **Hill, Brian**. Thesis. *Performance avaluation of warm mix asphalt mixtures incorporating reclaimed asphalt pavement*. 2011.
3. **Valentin, Jan a Mondschein, Petr**. Vybrané experimentální poznatky o nízkoteplotních asfaltových směsích. 2010.
4. TKP 238. *Nízkoteplotní asfaltové směsi (NTAS)*. 2012.
5. **Benešová, Lucie**. Studie proveditelnosti v oblasti nízkoúdržbových asfaltových krytů. *Část 3: Nízkoteplotní asfaltové směsi*.
6. NAPA. *Warm-Mix Asphalt: Best Practices 3rd Edition*. 2012.
7. **EAPA**. European Asphalt Pavement Association. *Warm mix asphalt*. [Online] [Citace: 1. říjen 2017.] <http://www.eapa.org/promo.php?c=202#c>.
8. **Valentin, Jan**. Silniční stavby 4, přednáška. *Nízkoteplotní asfaltové směsi. Snižování pracovních teplot asfaltových směsí*. 2012.
9. Global Montan Wax Market 2017. *Clariant, Romonta, Volpker*. [Online] [Citace: 15. říjen 2017.] <http://www.webnewswire.com/2017/03/02/global-montan-wax-market-2017-clariant-romonta-volpker/>.
10. Sasol. *Recomended Dosage of Sasobit - product information*. [Online] [Citace: 25. září 2017.] http://www.sasolgermany.de/fileadmin/sasolwax_documents/Dosing_Recommendation_s_Sasobit.pdf.
11. DEUREX. The wax company. *Waxes*. [Online] 2015. [Citace: 15. říjen 2017.] https://www.deurex.com/files/154F22503B0/DEUREX_Waxes_2015_03.pdf.
12. **Gonzalez-Leon, Juan, Achard, Françoise a Felletti, Olivier**. E&E Congress 2016. *Evaluation methods of chemical additives used in warm and recycled asphalt mixtures*. 2016.
13. **Mastný, Jan**. Diplomová práce. *Vliv syntetických vosků a rejuvenátorů na vlastnosti asfaltové směsi s R-materiálem*. 2017.
14. **Mondschein, Petr**. Silniční stavby 2, Přednáška č. 8 - Recyklace vozovek.
15. Wikipedie. *Zeolit*. [Online] [Citace: 1. říjen 2017.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zeolit>.
16. Přírodní kámen zeolit. [Online] [Citace: 2. listopad 2017.] http://www.zeolitkamen.cz/neco_o_zeolitu.
17. Asphalt in figures 2015. *EAPA*. 2017.



18. Silnice Železnice. *Total ECO2 - Nízkoteplotní asfalty také pro střední a malé stavební společnosti*. [Online] [Citace: 19. listopad 2017.] <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/total-eco2-nizkoteplotni-asfalty-take-pro-stredni-a-male-stavebni-spolecnosti/>.
19. **Angst, Christian a Bueche, Nicolas**. Mechanical properties and quality-control of warm asphalt. *E&E Congress 2016*.
20. **Puchard, Zoltan a Gorgenyi, Agnes**. Comparing evaluation of compacting capability of foamed bitumen asphalt. *E&E Congress 2016*.
21. ČSN EN 13108-8. *Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 8: R-materiál*. 2008.
22. ČSN EN 13108-1. *Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 1: Asfaltový beton*. 2008.
23. **Mondschein, Petr a Valentin, Jan**. Problematika recyklace za horka v asfaltových hutněných směsích.
24. **Zajíček, Jan a kolektiv**. *Technologie stavby vozovek*. 2015.
25. **Valentin, Jan**. Silniční stavby 4, přednáška. *Recyklace asfaltových vozovek*.
26. Stavební technika. *Recyklace asfaltových vozovek za studena*. [Online] [Citace: 18. říjen 2017.] <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/recyklace-a-asfaltovych-vozovek-za-studena>.
27. **Varaus, Michal**. Metodika aplikace R-materiálu v asfaltových směsích. 2014.
28. Astec Dillman. *Double Barrel Drum Dryer/Mixer*. [Online] [Citace: 27. listopad 2017.] <http://www.astecinc.com/products/drying-mixing/double-barrel-drum-dryer-mixer.html>.
29. **Blažek, Jan**. Diplomová práce. *Užití R-materiálu v asfaltových směsích typu SMA*. 2017.
30. BETON SERVER. *Obalovny, asfalt*. [Online] [Citace: 18. říjen 2017.] <https://www.betonserver.cz/obalovny-asfalt>.
31. **Varaus, Michal**. Konference Projektování pozemních komunikací. *Recyklace asfaltových směsí na obalovně*. [Online] 2013. [Citace: 10. říjen 2017.] <http://www.konference-projektovani.cz/rocnik-2013/prezentace/data/19-varaus.pdf>.
32. **Zítka, Patrik**. Diplomová práce. *Problematika použití R-materiálu do asfaltových směsí*.
33. Wirtgen Group. *Transporting the old road to the cold recycling mixing plant*. [Online] [Citace: 18. říjen 2017.] <https://www.wirtgen-group.com/en/technologies/road-rehabilitation/cold-recycling-plant/>.
34. **Tuháček, Martin**. Bakalářská práce. *Recyklace asfaltových směsí - variabilita vstupních parametrů R-materiálu*. 2015.



35. **Tran, Nam H., Taylor, Adam, Willis, Richard.** Effect of Rejuvenator on Performance properties of HMA Mixtures with High RAP and RAS Contents. *NCAT Report 12-05*.
36. **Varaus, Michal.** Sdružení pro výstavbu silnic. *Asfaltové směsi s vysokým obsahem R-materiálu*. [Online] [Citace: 18. říjen 2017.] <http://www.sdruzeni-silnice.cz>.
37. **Šperka, Pavel.** Vliv použití R-materiálu na funkční vlastnosti asfaltových směsí. *Diplomová práce*. 2015.
38. Stavební investorské noviny. *Tunel Blanka má již asfaltový povrch*. [Online] [Citace: 24. říjen 2017.] <http://tvstav.cz/clanek/2817-tunel-blanka-ma-jiz-asfaltovy-povrch>.
39. **Fiedler, Jiří.** Školení o evropských a českých normách pro stavbu vozovek. *Nízkoteplotní asfaltové směsi*. 2015.
40. CESTI. *Recyklace asfaltových směsí na obalovně s vysokým podílem R-materiálu - Pokusný úsek Olšovec - Potštát*. [Online] [Citace: 2. listopad 2017.] http://www.cesti.cz/technicke_listy/tl2016/2016_WP1_TL1_10.pdf.
41. SFDI. *Příspěvky na nové technologie*. [Online] [Citace: 2. listopad 2017.] http://www.sfdi.cz/soubory/obrazky-clanky/poskytovani-prispevku/projektovectvinnosti/2015_sfdi_nove_technologie_brozura.pdf.
42. **Machel, Ondřej.** Bakalářská práce - Asfaltové směsi typu SMA s R-materiálem. 2017.
43. **Kotoušová, Adriana, Valentin, Jan a Chmelíková, Monika.** Nízkoteplotní asfaltová směs typu ACL 16 + se zvýšeným obsahem R-materiálu a různým technickým řešením - vybrané poznatky zkušebního úseku SFDI. 2017.
44. DEUREX® E 11 B. *DEUREX THE WAX COMPANY*. [Online] [Citace: 29. říjen 2017.] https://www.deurex.com/files/15AF797A1E1/TDS_DEUREX_E11B_2017-10_EN.pdf.
45. **CIUR, a.s.** INNODUR® PUR AD - technické informace.
46. Sasol. *Sasobit REDUX - Working principle os Sasobit REDUX in comparison to Sasobit*. [Online] [Citace: 26. září 2017.] http://www.sasobit.com/files/downloads/en/redux/0433.SAS-Sasobit-Redux-OP_en_WEB.pdf.
47. Zydex - ZycTherm. *3 C Nanotechnology*. [Online] [Citace: 1. říjen 2017.] http://www.zydexindustries.com/webfiles/Products/14322015033221ZycTherm_19th_Sept_2015.pdf.
48. PrePhalt® SK. *van Weezenbeek Specialties*. [Online] [Citace: 29. říjen 2017.] <http://www.weezenbeek.nl/prephalt-sk.html>.
49. **Mucha, Bohumír.** Diplomová práce. *Asfaltové směsi s použitím vyššího množství R-materiálu*. 2014.
50. STORIMPEX Unternehmensgruppe. *Additive und refuvenatoren, gummimodifizierter asphalt*. [Online] [Citace: 3. říjen 2017.] <http://www.storimpex.de/asphalt.html>.



51. ČSN EN 12697-30. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem*. 2013.
52. ČSN EN 12697-33+A1. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek*. 2007.
53. **Valentin, Jan, Vacková, Pavla a Kotoušová, Adriana**. Varianty asfaltové směsi ACO 11+ s využitím zvýšeného podílu R-materiálu a souboru vybraných přísad či technologií pro výrobu nízkoteplotní asfaltové směsi. 2017.
54. ČSN EN 12697-6. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zkušebního tělesa*. 2012.
55. ČSN EN 12697-5. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti*. 2007.
56. ČSN EN 12697-8. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí*. 2004.
57. ČSN EN 12697-23. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu*. 2005.
58. AASHTO T 283. *Resistance of compacted bituminous mixture to moisture induced damage*. 2008.
59. ČSN EN 12697-26. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 26: Tuhost*. 2012.
60. ČSN EN 12697-44. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 44: Šíření trhliny zkouškou ohybem na půlválcovém zkušebním tělese*. 2011.
61. ČSN EN 12697-22+A1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška poježdění kolem*. 2007.
62. AMMANN. *Nízkoteplotní asfalt*. [Online] [Citace: 24. září 2017.] <https://www.ammann-group.com/cz-cz/technology/low-temperature-asphalt>.
63. ČSN EN 12697-12. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě*. 2009.
64. TP 210. *Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací*. 2011.
65. **El-Baz El-Shourbagy, Mahmoud**. Mechanical characteristics of recycled asphalt in Germany.

Seznam obrázků

- Obrázek 1: Klasifikace asfaltových technologií na základě výrobní teploty [5]10
- Obrázek 2: Produkce NTAS v Evropě a USA [5]11



Obrázek 3: Syntetické vosky - montánní vosk Romonta [9], FT parafín Sasobit [10], amidový vosk Deurex [11]	13
Obrázek 4: Různé formy přírodních vosků [11].....	13
Obrázek 5: Schéma výroby zpěněného asfaltu [7] [5].....	15
Obrázek 6: Porovnání výroby běžné asfaltové směsi a pěnoasfaltové směsi [8]	15
Obrázek 7: Postup výroby LEA směsi [8]	17
Obrázek 8: Přírodní kámen zeolit [16]	17
Obrázek 9: Vliv snížení teploty na množství asfaltových výparů [7].....	19
Obrázek 10: Vlastnosti asfaltových směsí vyrobených na obalovně při pokládce zkušebního úseku v Blois včetně energetických úspor [18]	22
Obrázek 11: Množství tun vyrobených NTAS v Norsku [7]	23
Obrázek 12: Schéma soupravy pro recyklaci za studena na místě [26].....	27
Obrázek 13: Schéma činnosti recyklační frézy [24]	28
Obrázek 14: Recyklační fréza CRMX2 [26]	28
Obrázek 15: Schéma dvouplášťového bubnu bez použití míchačky šaržové obalovny [28] [29].....	29
Obrázek 16: Schéma šaržové obalovny s paralelním sušícím bubnem [31]	30
Obrázek 17: Paralelní sušící buben šaržové obalovny [31]	30
Obrázek 18: Mobilní míchací zařízení, Recyklace na v míchacím centru [33]	31
Obrázek 19: Pokládka v tunelu Blanka [38]	33
Obrázek 20: Asfaltové směsi použité na zkušebním úseku II/204 Mrtník – Kaznějov [41]	35
Obrázek 21: Pohled na výslednou položenou vozovku [41].....	35
Obrázek 22: Hutnění NTAS s recyklátem [41].....	36
Obrázek 23: Jádrové vývrty vozovky s pěnoasfaltovou ložní vrstvou [41].....	36
Obrázek 24: DEUREX® E 11 B [44].....	39
Obrázek 25: INNODUR® PUR AD [45]	39
Obrázek 26: Porovnání chování běžného asfaltového pojiva bez použití přísad a asfaltového pojiva s přísadou Sasobit a Sasobit REDUX [46]	40
Obrázek 27: Snížení viskozity přidáním modifikátoru Sasobit REDUX [46]	40
Obrázek 28: Porovnání obalení kameniva nemodifikovaným asfaltovým pojivem a asfaltovým pojivem s přísadou Zycotherm [47].....	41
Obrázek 29: Přísada Storelastic [50].....	42
Obrázek 30: Rázový zhutňovač, lamelový zhutňovač.....	44
Obrázek 31: Zkouška stanovení pevnosti v příčném tahu	47
Obrázek 32: Měření modulu tuhosti pomocí hydraulického zkušebního rámu	52
Obrázek 33: Zkouška šíření trhliny ohybem	56
Obrázek 34: Zkušební těleso porušené trhlinou	57
Obrázek 35: Datalogger ALMEMO	57
Obrázek 36: Zkušební zařízení pro pojiždění desek.....	63

Seznam tabulek

Tabulka 1: Expozice pracovníkům zpracovávajícím běžné a nízkoteplotní asfaltové směsi [3].....	19
--	----



Tabulka 2: Množství vyrobených nízkoteplotních směsí v milionech tun [17].....	21
Tabulka 3: Projekt PLANET - použité technologie [19]	23
Tabulka 4: Nejvyšší dovolený obsah R-materiálu v asfaltových směsích dle ČSN EN 13108-1 [22].....	25
Tabulka 5: Objem recyklace ve vybraných státech [17]	26
Tabulka 6: Kalkulace úspor při použití R-materiálu [36].....	32
Tabulka 7: Tunel Blanka - průkazní zkoušky [39]	33
Tabulka 8: Shrnutí asfaltových směsí ACL 16 +	42
Tabulka 9: Členění asfaltových směsí podle podobnosti použitého pojiva či technologie	43
Tabulka 10: Volumetrické vlastnosti asfaltových směsí	46
Tabulka 11: Výsledky zkoušky stanovení pevnosti v příčném tahu a odolnosti vůči vodě a mrazu.....	49
Tabulka 12: Souhrn výsledků modulů tuhosti	52
Tabulka 13: Porovnání výsledků modulů tuhosti zestárých a nezestárých zkušebních těles	55
Tabulka 14: Výsledky zkoušky šíření trhliny ohybem (přetvoření při porušení ϵ_{max} , napětí při porušení σ_{max})	58
Tabulka 15: Výsledky zkoušky šíření trhliny ohybem (lomová houževnatost K_{Ic}) – odolnost proti křehkému lomu	58
Tabulka 16: Výsledky zkoušky šíření trhliny ohybem u zestárých těles pomocí dataloggeru ALMEMO.....	60
Tabulka 17: Objemová hmotnost a míra zhutnění zkušebních desek	64
Tabulka 18: Výsledky zkoušky stanovení odolnosti proti trvalým deformacím	65

Seznam grafů

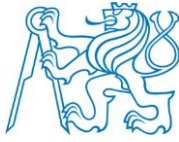
Graf 1: Výsledky mezerovitosti posuzovaných variant	46
Graf 2: Pevnost v příčném tahu [MPa].....	49
Graf 3: Odolnost vůči vodě a vůči vodě a mrazu	51
Graf 4: Moduly tuhosti jednotlivých variant při sledovaných teplotách [MPa]	54
Graf 5: Teplotní citlivost sledovaných variant ACL 16 + [-].....	54
Graf 6: Moduly tuhosti při 15 °C nezestárých a zestárých zkušebních těles.....	55
Graf 7: Index stárnutí posuzovaných variant asfaltové směsi ACL 16 +	55
Graf 8: Lomová houževnatost K_{Ic} [N/mm ^{3/2}].....	58
Graf 9: Pracovní diagramy asfaltových směsí #1 - #13.....	63
Graf 10: Přírůstek hloubky vyjeté koleje	65
Graf 11: Průměrná hloubka vyjeté koleje.....	65
Graf 12: Průběhy zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím	66

Seznam příloh

P 1: Rozměry a objemové hmotnosti těles hutněných 2×50 údery	76
P 2: Maximální objemové hmotnosti a mezerovitosti všech variant	79
P 3: Rozměry a objemové hmotnosti těles Marshallových těles hutněných 2×25 údery80	

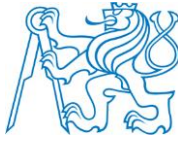


P 4: Výsledky zkoušky stanovení pevnosti v příčném tahu včetně odolnosti proti účinkům vody a mrazu	84
P 5: Výsledky zkoušky stanovení modulu tuhosti nezestárých těles	88
P 6: Výsledky zkoušky stanovení modulu tuhosti zestárých těles	95
P 7: Rozměry zkušebních půlválcových těles - nezestárlá	97
P 8: Rozměry zkušebních půlválcových těles – zestárlá.....	99
P 9: Výsledky zkoušky stanovení odolnosti proti šíření mrazové trhliny nezestárých těles	101
P 10: Výsledky zkoušky stanovení odolnosti proti šíření mrazové trhliny – zestárlá tělesa	104
P 11: Rozměry a objemové hmotnosti zkušebních desek, včetně míry zhutnění	111
P 12: Výsledky zkoušky stanovení odolnosti vůči trvalým deformacím	112



P 1: Rozměry a objemové hmotnosti těles hutněných 2×50 úderů

Směs	Těleso	Průměr [mm]					Výška [mm]				Hmotnost			Teplota vody		Hustota vody [g.cm ⁻³]	Objemová hmotnost [g.cm ⁻³]					Teplota hutnění a počet úderů	Max. obj.hm. P _{max} [g.cm ⁻³]
		d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h	m _s	m _m	m _v	T [°C]		p _w	p _{vz}					
#1	11	102,32	102,02	102,15	102,22	102,2	63,88	63,77	63,90	64,41	64,0	1 176,0	692,2	1 191,9	16,0	0,9990	2,351	2,346	130°C 2x50	2,596			
	12	102,67	103,07	103,10	103,14	103,0	63,57	63,13	62,70	62,96	63,1	1 168,8	687,8	1 185,9									
	13	101,62	101,53	101,66	101,63	101,6	65,16	65,71	65,52	65,04	65,4	1 175,5	690,4	1 191,3									
	14	102,75	102,84	103,05	102,97	102,9	63,72	63,37	63,38	62,82	63,3	1 177,8	692,2	1 192,4									
	15	101,41	101,22	101,37	101,67	101,4	65,05	64,94	65,70	65,74	65,4	1 183,6	692,9	1 197,1									
	16	101,98	102,13	101,93	101,91	102,0	64,81	64,95	64,77	64,93	64,9	1 176,5	689,7	1 191,7									
#2	21	101,11	101,32	101,31	101,78	101,4	63,38	63,50	63,78	63,96	63,7	1 185,7	699,6	1 194,3	15,0	0,9992	2,395	2,393	130°C 2x50	2,584			
	22	101,40	101,48	101,62	101,68	101,5	64,90	64,59	64,70	65,08	64,8	1 184,1	698,9	1 197,4									
	23	101,28	101,58	101,57	101,72	101,5	63,11	64,16	63,93	63,31	63,6	1 187,5	700,3	1 195,9									
	24	101,93	101,95	101,88	101,84	101,9	63,05	62,43	62,51	63,22	62,8	1 189,3	702,5	1 195,2									
	25	101,42	101,69	101,75	101,76	101,7	63,66	64,17	64,63	63,90	64,1	1 190,8	702,3	1 199,2									
	26	102,04	102,11	102,17	101,87	102,0	63,64	63,76	63,36	63,93	63,7	1 188,6	699,4	1 197,0									
#3	31	102,04	101,84	101,85	102,51	102,1	63,49	63,45	62,93	63,23	63,3	1 187,2	708,3	1 201,7	21,5	0,9980	2,401	2,419	130°C 2x50	2,627			
	32	102,13	101,79	101,92	102,02	102,0	62,41	62,93	62,71	62,38	62,6	1 184,6	705,8	1 192,9									
	33	101,51	101,59	101,60	101,61	101,6	63,29	63,22	63,43	63,60	63,4	1 185,3	705,9	1 196,0									
	34	101,35	101,57	101,64	101,40	101,5	63,70	63,81	63,22	63,01	63,4	1 185,6	709,9	1 196,2									
	35	101,69	101,84	101,67	101,56	101,7	63,13	62,90	62,28	63,21	62,9	1 185,1	705,3	1 192,9									
	36	102,15	101,96	102,03	101,97	102,0	62,64	62,50	61,86	62,83	62,5	1 183,8	706,8	1 196,6									
#4	41	101,54	101,32	101,55	101,27	101,4	61,98	62,28	62,56	62,27	62,3	1 175,5	700,5	1 181,8	22,0	0,9978	2,437	2,453	130°C 2x50	2,592			
	42	101,94	101,72	101,44	101,80	101,7	62,55	62,41	62,21	62,00	62,3	1 174,5	701,4	1 182,3									
	43	102,08	101,55	101,88	102,06	101,9	62,01	61,72	61,37	61,36	61,6	1 174,7	701,1	1 179,3									
	44	101,50	101,50	101,48	101,51	101,5	61,00	61,03	61,40	61,44	61,2	1 174,7	702,8	1 177,6									
	45	102,11	102,08	102,10	102,00	102,1	60,97	61,14	61,24	61,33	61,2	1 179,2	703,3	1 183,5									
	46	101,44	101,62	101,63	101,68	101,6	60,76	61,13	61,33	61,19	61,1	1 178,3	706,1	1 181,7									



ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb

Nízkoteplotní asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu

Směs	Těleso	Průměr [mm]					Výška [mm]					Hmotnost			Teplota vody T [°C]	Hustota vody pw [g.cm ⁻³]	Objemová hmotnost			Teplota hutnění a počet úderů	Max. obj.hm. P _{max} [g.cm ⁻³]
		d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h	m _s	m _m	m _v			P _{vz}	P _{vz}			
#5	51	101,60	101,47	101,70	101,48	101,6	62,79	62,91	62,17	62,28	62,5	1 177,1	697,3	1 182,6	19,5	0,9984	2,422	2,420	2,409	130°C 2x50	2,609
	52	101,66	101,67	101,60	101,50	101,6	62,95	62,94	62,70	62,94	62,9	1 182,6	703,5	1 191,3			2,420	2,409	2,429		
	53	101,62	101,50	101,30	101,45	101,5	63,54	63,43	63,16	63,44	63,4	1 181,7	700,9	1 190,7			2,409	2,429	2,420		
	54	102,04	101,97	101,99	102,04	102,0	61,34	61,22	61,20	61,51	61,3	1 175,1	697,4	1 180,4			2,420	2,420	2,412		
	55	102,00	101,94	101,88	101,80	101,9	61,94	61,55	61,35	61,72	61,6	1 176,7	699,0	1 184,5			2,420	2,420	2,412		
	56	101,61	101,64	101,55	101,37	101,5	62,80	62,54	62,26	62,58	62,5	1 178,2	698,9	1 186,6			2,320	2,340	2,329		
#6	61	101,52	101,41	101,35	101,34	101,4	64,64	65,85	65,56	64,83	65,2	1 182,8	691,4	1 200,2	20,5	0,9982	2,320	2,340	2,329	130°C 2x50	2,544
	62	102,07	101,67	101,98	102,24	102,0	64,72	65,04	65,05	64,08	64,7	1 182,1	691,1	1 195,3			2,320	2,340	2,329		
	63	102,06	102,25	101,73	102,04	102,0	64,91	65,70	65,05	64,43	65,0	1 181,4	690,5	1 196,8			2,320	2,340	2,329		
	64	101,93	101,60	101,53	101,70	101,7	65,56	65,63	66,15	65,74	65,8	1 178,4	687,6	1 193,9			2,320	2,340	2,329		
	65	101,75	101,60	101,95	101,67	101,7	65,12	65,60	64,49	65,68	65,2	1 180,9	689,3	1 194,7			2,320	2,340	2,329		
	66	101,44	101,71	101,80	101,83	101,7	66,11	65,92	65,57	66,62	66,1	1 179,5	689,2	1 195,8			2,320	2,340	2,329		
#7	71	101,20	101,62	101,84	101,51	101,5	65,81	64,93	65,03	65,95	65,4	1 190,2	702,8	1 209,5	20,0	0,9983	2,345	2,341	2,344	130°C 2x50	2,561
	72	101,76	101,02	101,80	101,63	101,6	66,19	66,01	65,65	65,24	65,8	1 189,1	702,3	1 209,4			2,345	2,341	2,344		
	73	102,03	102,32	102,01	101,95	102,1	64,88	65,37	65,18	64,94	65,1	1 196,1	704,6	1 213,9			2,345	2,341	2,344		
	74	102,15	102,51	102,23	102,06	102,2	64,47	64,41	65,42	65,11	64,9	1 195,7	703,3	1 211,9			2,345	2,341	2,344		
	75	101,50	101,53	101,45	101,72	101,6	65,55	65,70	65,51	65,14	65,5	1 189,1	703,7	1 207,0			2,345	2,341	2,344		
	76	101,35	101,63	101,67	102,05	101,7	65,45	65,32	65,01	65,61	65,3	1 194,0	704,9	1 211,4			2,345	2,341	2,344		
#8	81	102,80	102,59	102,58	102,65	102,7	57,16	56,62	56,03	56,80	56,7	1 097,6	651,2	1 103,6	18,5	0,9986	2,423	2,430	2,423	130°C 2x50	2,590
	82	101,65	101,75	101,93	101,72	101,8	57,66	57,41	58,32	57,81	57,8	1 100,8	655,0	1 107,3			2,423	2,430	2,423		
	83	102,20	101,53	101,80	101,92	101,9	58,99	58,41	57,84	58,43	58,4	1 102,8	656,7	1 111,2			2,423	2,430	2,423		
	84	102,26	102,78	101,92	102,33	102,3	58,27	57,94	56,92	57,84	57,7	1 110,2	660,1	1 114,8			2,423	2,430	2,423		
	85	102,18	101,80	102,57	102,21	102,2	57,84	56,96	57,71	57,64	57,5	1 102,6	656,3	1 106,4			2,423	2,430	2,423		
	86	102,58	101,57	101,36	101,82	101,8	59,73	58,91	58,13	59,38	59,0	1 104,8	655,9	1 109,1			2,423	2,430	2,423		



ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb

Nízkoteplotní asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu

Směs	Průměr					Výška					Hmotnost			Teplota vody T [°C]	Hustota vody ρ _w [g.cm ⁻³]	Objemová hmotnost		Teplota hutnění a počet úderů	Max. obj.hm. P _{max} [g.cm ⁻³]
	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h	m _s	m _m	m _v			ρ _{vz}	ρ _{vz}		
#9	91	101,48	101,96	101,70	101,37	101,6	65,78	65,31	66,47	65,27	65,7	1214,8	717,3	1223,1	0,9986	2,398	2,397	130°C 2x50	2,587
	92	101,55	101,55	101,52	101,72	101,6	66,97	66,30	66,26	66,98	66,6	1220,4	720,0	1231,0					
	93	101,88	102,60	102,32	102,20	102,3	66,68	65,29	66,13	66,70	66,2	1214,0	717,5	1222,5					
	94	102,28	102,09	101,93	102,38	102,2	67,04	66,49	67,44	67,54	67,1	1234,2	728,7	1244,0					
	95	101,93	102,19	101,72	101,69	101,9	66,47	65,58	65,40	66,17	65,9	1205,7	712,8	1213,7					
	96	101,51	101,64	101,67	101,51	101,6	66,52	66,63	66,43	66,89	66,6	1224,7	722,7	1231,2					
#10	101	102,08	102,29	101,90	102,04	102,1	64,56	64,81	65,22	65,23	65,0	1182,7	701,9	1198,2	0,9986	2,380	2,384	130°C 2x50	2,607
	102	101,53	101,49	101,53	101,50	101,5	65,13	64,90	64,70	65,00	64,9	1184,2	702,0	1198,7					
	103	102,67	102,40	102,72	102,86	102,7	64,75	64,83	64,85	65,00	64,9	1182,3	703,2	1199,7					
	104	101,74	101,76	101,23	101,62	101,6	64,72	64,30	64,28	64,44	64,4	1180,6	700,8	1193,5					
	105	101,95	101,86	101,84	101,88	101,9	65,08	64,88	64,60	64,70	64,8	1186,2	704,1	1200,2					
	106	101,53	101,67	101,29	101,64	101,5	64,96	65,17	65,66	65,50	65,3	1194,6	708,6	1208,2					
#11	111	101,40	101,24	101,61	101,49	101,4	64,42	64,20	64,23	64,80	64,4	1221,9	728,2	1226,9	0,9986	2,447	2,420	130°C 2x50	2,583
	112	101,77	102,07	102,25	102,04	102,0	62,05	62,36	62,91	62,67	62,5	1194,6	709,0	1198,6					
	113	100,89	101,26	101,39	101,40	101,2	64,10	64,09	63,25	63,89	63,8	1195,7	711,8	1205,6					
	114	100,83	101,18	101,15	101,61	101,2	63,34	62,89	63,73	63,34	63,3	1181,5	703,7	1192,9					
	115	101,48	101,82	101,58	101,40	101,6	64,91	64,88	64,19	64,96	64,7	1195,0	711,9	1208,6					
	116	101,63	101,58	101,71	101,22	101,5	64,83	64,08	64,72	64,55	64,5	1190,6	707,8	1201,6					
#12	121	101,69	101,55	101,53	101,63	101,6	63,55	63,69	64,08	63,79	63,8	1179,0	695,3	1189,8	0,9983	2,380	2,391	130°C 2x50	2,584
	122	101,88	101,71	101,59	101,92	101,8	62,77	63,48	63,66	62,82	63,2	1178,8	696,4	1188,1					
	123	101,59	101,66	101,71	101,52	101,6	63,48	63,09	63,13	63,41	63,3	1180,6	698,5	1189,4					
	124	101,56	101,51	101,43	101,58	101,5	63,51	63,46	63,63	63,85	63,6	1182,0	698,2	1189,8					
	125	101,50	101,61	101,61	101,59	101,6	64,51	64,17	64,01	64,25	64,2	1181,1	697,9	1193,1					
	126	101,59	101,54	101,41	101,68	101,6	64,15	64,24	64,24	64,40	64,3	1184,9	701,6	1196,8					
#13	131	101,47	101,53	101,61	101,45	101,5	66,59	66,57	65,75	66,18	66,3	1175,4	698,4	1193,4	0,9980	2,370	2,352	130°C 2x50	2,581
	132	101,95	101,61	102,07	101,86	101,9	66,02	65,77	66,40	66,51	66,2	1177,9	697,6	1201,5					
	133	101,81	101,72	101,77	101,71	101,8	66,29	66,03	65,71	66,33	66,1	1180,4	701,5	1202,1					
	134	101,30	101,72	101,44	101,73	101,5	66,06	66,24	66,31	66,06	66,2	1177,3	698,1	1199,8					
	135	101,45	101,72	101,57	101,62	101,6	65,81	65,80	66,28	66,10	66,0	1176,9	696,5	1195,5					
	136	101,66	101,99	101,96	101,93	101,9	65,75	66,08	66,22	66,21	66,1	1182,3	700,6	1200,0					



P 2: Maximální objemové hmotnosti a mezerovitosti všech variant

Směs	Objem pyknometru [cm ³]	Hmotnost pyknometru [g]	Materiál [g]	Pyknometr + materiál [g]	Pyknometr + materiál + voda [g]	Teplota vody [°C]	Objemová hmotnost vody [g/cm ³]	Objemová hmotnost [g/cm ³]	Maximální objemová hmotnost [g/cm ³]	Mezerovitost [%]
#1	1313,6	700,1	792,6	1492,7	2497,3	27,5	0,9964	2,346	2,596	9,6%
#2	1314,5	700,7	837,2	1537,9	2524,8	27,5	0,9964	2,393	2,584	7,4%
#3	1318,3	695,6	834,7	1530,3	2528,5	23,0	0,9976	2,419	2,627	7,9%
#4	1305,7	699,7	848,6	1548,3	2524,3	23,0	0,9976	2,453	2,592	5,4%
#5	1311,7	712,2	854,1	1566,3	2548,3	23,0	0,9976	2,419	2,609	7,3%
#6	1315,2	699,8	805,3	1505,1	2501,7	21,5	0,9980	2,328	2,544	8,5%
#7	1316,6	696,7	805,7	1502,4	2502,4	21,5	0,9980	2,348	2,561	8,3%
#8	1318,3	695,6	808,2	1503,8	2507,0	26,0	0,9969	2,432	2,590	6,1%
#9	1315,2	699,8	805,7	1505,5	2506,2	26,0	0,9969	2,397	2,587	7,3%
#10	1316,6	696,7	802,9	1499,6	2505,1	26,0	0,9969	2,384	2,607	8,5%
#11	1305,7	699,7	803,5	1503,2	2495,8	21,5	0,9980	2,420	2,583	6,3%
#12	1311,1	702,3	804,8	1507,1	2504,8	21,5	0,9980	2,391	2,584	7,5%
#13	1328,8	717,0	805,7	1522,7	2537,3	21,5	0,9980	2,352	2,581	8,9%



P 3: Rozměry a objemové hmotnosti těles Marshallových těles hutněných 2×25 úderů

Směs	Cyklus	Těleso	Průměr				Výška				Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [g.cm ⁻³]			
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]					
#1	suchá	1 A	101,75	101,77	101,58	101,77	101,7	63,23	62,48	63,12	63,58	63,1	1093,3	2,132	
		1 C	101,23	101,80	101,84	101,78	101,7	63,29	63,24	62,76	63,23	63,1	1092,6	2,132	
		1 D	101,66	102,45	101,93	101,77	102,0	62,73	62,86	62,52	62,90	62,8	1091,7	2,131	
	mokrā	1 B	101,44	101,82	101,66	101,63	101,6	62,98	62,72	63,27	63,70	63,2	1088,4	2,124	
		1 E	102,11	102,07	102,04	102,08	102,1	62,54	61,83	62,05	62,53	62,2	1089,1	2,138	
		1 F	101,57	101,63	101,81	101,76	101,7	62,86	62,91	63,31	63,35	63,1	1094,3	2,135	
	mráz	1 X	101,83	102,06	102,13	101,83	102,0	62,66	62,34	62,25	62,61	62,5	1084,4	2,126	
		1 Y	101,48	101,44	101,57	101,27	101,4	62,10	62,24	62,02	61,91	62,1	1079,1	2,151	
		1 Z	101,60	101,47	100,95	101,65	101,4	62,62	62,97	62,35	62,36	62,6	1089,8	2,156	
	#2	suchá	2 A	101,68	101,50	101,51	101,92	101,7	61,29	61,13	61,48	61,35	61,3	1093,1	2,197
			2 E	101,51	101,40	101,44	101,44	101,4	61,45	61,05	61,03	61,51	61,3	1090,4	2,202
			2 F	101,92	101,45	101,56	101,58	101,6	60,75	61,63	61,35	60,91	61,2	1096,0	2,209
mokrā		2 B	101,44	101,69	101,70	101,71	101,6	60,51	61,14	61,12	60,96	60,9	1088,3	2,202	
		2 C	101,27	101,25	101,57	101,45	101,4	60,77	60,33	61,29	61,05	60,9	1083,4	2,205	
		2 D	101,59	101,38	101,51	101,73	101,6	61,37	60,64	60,77	60,90	60,9	1086,1	2,201	
#3	mráz	2 X	101,41	101,54	101,52	101,17	101,4	61,31	61,68	61,87	61,46	61,6	1090,0	2,191	
		2 Y	101,52	101,33	101,70	101,61	101,5	61,43	60,97	60,51	61,28	61,0	1078,9	2,182	
		2 Z	101,44	101,95	101,81	101,69	101,7	61,99	61,34	61,66	62,17	61,8	1088,4	2,167	
	suchá	3 A	101,47	101,24	101,48	101,66	101,5	61,82	61,25	61,26	61,23	61,4	1097,2	2,210	
		3 D	101,37	101,44	101,15	101,36	101,3	61,85	61,25	61,43	61,34	61,5	1097,5	2,214	
		3 F	101,44	101,38	101,72	101,68	101,6	61,27	60,39	61,27	61,72	61,2	1099,8	2,220	
mokrā	3 B	101,39	101,58	101,37	101,57	101,5	61,52	61,87	61,10	61,80	61,6	1096,7	2,202		
	3 C	101,24	101,09	101,15	101,36	101,2	61,35	61,18	61,90	61,94	61,6	1101,0	2,222		
	3 E	101,25	101,80	101,36	101,26	101,4	61,27	61,47	61,48	61,15	61,3	1100,9	2,222		
mráz	3 X	101,97	102,06	102,18	101,78	102,0	59,62	59,99	60,20	59,66	59,9	1092,2	2,233		
	3 Y	101,94	101,99	101,94	102,01	102,0	59,55	60,06	60,35	59,56	59,9	1086,7	2,222		
	3 Z	101,72	101,48	101,86	101,64	101,7	62,86	63,12	63,52	62,20	62,9	1152,4	2,256		



ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb
Nízkoteplotní asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu

Směs	Cyklus	Těleso	Průměr				Výška				Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [g.cm ⁻³]		
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]				
#4	suchá	4 A	101,90	101,65	101,95	101,92	59,93	59,16	59,73	59,70	59,6	1084,9	2,233	
		4 C	101,55	101,59	101,52	101,30	59,34	59,51	59,60	59,70	59,5	1083,4	2,249	
		4 D	102,98	102,77	102,93	102,91	58,10	58,31	58,25	57,51	58,0	1087,1	2,252	
	mokrā	4 B	101,81	101,86	101,04	101,79	59,55	59,18	59,21	59,54	59,4	1089,5	2,262	
		4 E	101,62	101,41	101,69	101,68	60,01	60,24	60,29	60,64	60,3	1091,0	2,232	
		4 F	101,60	101,57	101,53	101,33	59,86	59,74	60,01	60,00	59,9	1085,3	2,239	
	mráz	4 X	101,26	101,60	101,66	101,64	55,08	54,65	54,92	55,18	55,0	1004,0	2,256	
		4 Y	101,52	101,19	101,59	101,52	54,07	54,34	54,78	54,07	54,3	1005,6	2,290	
		5 A	101,70	101,56	101,44	101,61	59,21	59,48	59,79	59,72	59,6	1082,4	2,243	
	#5	suchá	5 B	101,94	101,85	101,85	101,93	59,44	59,48	59,79	59,46	59,5	1076,7	2,218
			5 D	101,68	101,45	101,49	101,39	59,54	59,19	59,03	58,88	59,2	1080,1	2,256
			5 C	101,62	101,38	101,40	101,54	59,69	59,30	59,13	59,67	59,4	1079,8	2,246
mokrā		5 E	101,58	101,42	101,57	101,01	59,86	59,61	59,93	60,27	59,9	1081,4	2,235	
		5 F	101,17	101,51	101,61	101,61	59,49	59,65	59,92	59,97	59,8	1078,8	2,232	
		5 X	101,67	101,62	101,60	101,78	60,01	60,53	59,93	59,76	60,1	1093,0	2,242	
#6	suchá	5 Y	101,57	101,56	101,76	101,55	59,54	59,13	59,39	59,81	59,5	1091,4	2,263	
		5 Z	101,66	101,85	101,69	101,65	59,55	59,86	60,01	59,99	59,9	1094,9	2,251	
		6 A	102,88	102,74	102,92	102,93	61,62	61,66	60,61	61,36	61,3	1086,6	2,132	
	mokrā	6 E	102,16	101,80	102,01	102,26	62,39	62,20	62,76	62,81	62,5	1088,3	2,127	
		6 F	101,02	101,64	101,60	101,67	62,96	62,60	63,31	63,16	63,0	1087,3	2,133	
		6 B	101,39	101,65	101,67	101,47	64,26	63,46	63,54	64,28	63,9	1089,5	2,106	
mokrā	6 C	101,59	101,52	101,60	101,44	62,55	62,70	63,51	62,36	62,8	1089,5	2,143		
	6 D	101,37	101,45	101,57	101,33	62,62	62,31	62,98	62,93	62,7	1087,6	2,146		



Směs	Cyklus	Těleso	Průměr				Výška				Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [g.cm ⁻³]	
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]			
#7	suchá	7 A	101,96	101,89	101,51	101,56	101,97	62,31	62,22	62,10	62,2	1093,9	2,165
		7 C	101,20	101,55	101,59	101,61	64,73	64,66	64,50	64,7	1131,9	2,164	
		7 E	101,73	101,68	101,72	101,67	62,79	62,55	63,29	62,9	1095,1	2,144	
	mokrá	7 B	101,66	101,54	101,62	101,34	62,71	62,54	63,03	62,45	1099,5	2,166	
		7 D	101,51	101,39	101,17	101,66	64,17	63,95	63,96	64,1	1100,0	2,125	
		7 F	102,10	102,00	102,24	101,81	63,22	63,58	62,90	63,2	1123,5	2,175	
	mráz	7 X	101,42	101,56	101,62	101,40	62,12	62,48	62,35	62,3	1102,0	2,186	
		7 Y	102,15	101,97	102,21	102,18	62,70	61,90	62,50	62,4	1103,9	2,160	
		7 Z	101,87	101,75	102,15	101,92	59,80	60,84	60,98	60,5	1094,0	2,215	
suchá	8 A	101,15	101,48	101,44	101,32	60,79	61,12	60,95	61,0	1103,0	2,240		
	8 E	102,46	101,98	101,56	102,21	61,23	60,99	60,92	61,1	1105,3	2,213		
	8 F	101,63	101,94	101,82	101,75	60,95	60,67	60,57	60,7	1091,0	2,208		
mokrá	8 B	101,80	101,55	101,83	101,72	59,75	60,17	60,27	60,1	1100,1	2,254		
	8 C	101,40	101,39	101,97	101,63	62,13	62,06	62,02	62,1	1103,5	2,193		
	8 D	101,58	101,73	101,58	101,55	60,68	60,65	61,59	61,0	1101,2	2,225		
mráz	8 X	101,71	101,85	101,52	101,33	59,87	60,12	60,25	60,1	1082,1	2,220		
	8 Y	102,12	101,98	102,25	101,77	61,66	61,89	61,12	61,4	1112,2	2,214		
	8 Z	101,72	101,85	101,64	101,65	61,45	61,12	61,54	61,3	1105,2	2,218		
suchá	9 A	102,80	102,79	103,01	102,73	61,86	60,90	61,77	61,6	1111,8	2,173		
	9 B	101,66	101,59	101,48	101,75	62,74	63,26	63,70	63,2	1119,9	2,185		
	9 E	101,81	101,72	101,84	101,58	64,81	63,46	62,77	63,7	1111,9	2,148		
mokrá	9 C	101,51	101,69	101,74	101,83	63,76	64,39	64,61	64,3	1125,9	2,157		
	9 D	101,64	101,90	101,85	101,66	63,59	64,37	64,25	64,1	1131,3	2,171		
	9 F	102,14	102,22	102,30	101,97	62,81	63,27	62,75	62,9	1120,6	2,174		
mráz	9 X	101,64	101,63	101,87	101,59	61,35	61,70	62,00	61,66	1088,4	2,173		
	9 Y	101,38	101,80	101,69	102,02	60,81	61,07	60,39	60,7	1087,2	2,204		
	9 Z	101,29	101,67	101,52	101,66	62,11	61,77	62,22	62,0	1090,5	2,172		

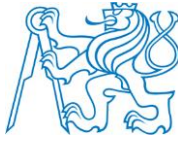


Směs	Cyklus	Těleso	Průměr				Výška				Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [g.cm ⁻³]		
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	průměr [mm]	[mm]	[mm]	[mm]		výška [mm]	[g]	[g.cm ⁻³]
#10	suchá	10 A	101,20	101,52	101,38	101,28	101,3	63,08	63,23	62,77	62,58	62,9	1079,2	2,126
		10 B	101,46	101,42	101,50	101,47	101,5	63,15	62,64	62,44	62,76	62,7	1089,2	2,147
	mokrā	10 F	101,94	102,00	101,95	102,02	102,0	61,85	62,15	61,58	61,63	61,8	1081,7	2,143
		10 C	101,50	101,43	101,57	101,48	101,5	60,22	60,28	59,68	59,84	60,0	1071,2	2,207
#11	suchā	10 D	101,54	101,58	101,48	101,44	101,5	63,22	63,72	63,61	63,11	63,4	1084,6	2,113
		10 E	103,00	102,71	102,82	102,84	102,8	61,48	61,34	61,18	61,72	61,4	1074,2	2,105
	mokrā	11 A	100,95	101,36	101,58	101,57	101,4	60,11	59,97	60,22	60,26	60,1	1088,8	2,243
		11 E	102,00	102,10	101,95	101,86	102,0	60,28	59,73	60,29	60,43	60,2	1088,5	2,214
#12	suchā	11 F	101,63	101,34	101,17	101,63	101,4	60,97	60,93	60,80	61,15	61,0	1090,0	2,212
		11 B	101,93	101,96	102,11	101,66	101,9	58,91	59,03	59,53	59,50	59,2	1086,6	2,248
	mráz	11 C	101,70	101,94	101,81	101,95	101,9	62,55	63,01	62,46	62,10	62,5	1134,0	2,226
		11 D	101,59	102,02	102,03	102,10	101,9	61,08	60,60	60,73	61,19	60,9	1090,6	2,194
#13	suchā	11 X	102,87	102,65	102,99	103,00	102,9	55,98	56,32	56,78	56,10	56,3	1057,7	2,260
		11 Y	101,62	101,78	101,42	101,65	101,6	58,45	58,43	58,51	58,05	58,4	1060,7	2,241
	mokrā	11 Z	102,97	102,75	102,84	102,55	102,8	55,77	56,01	55,68	55,87	55,8	1043,3	2,252
		12 A	102,07	101,83	102,13	102,10	102,0	60,75	61,06	61,16	61,12	61,0	1089,0	2,183
#12	suchā	12 C	100,69	101,42	101,39	101,61	101,3	61,52	61,57	61,51	61,44	61,5	1089,6	2,199
		12 E	101,92	101,71	101,94	101,83	101,9	60,37	60,55	60,79	60,80	60,6	1085,6	2,198
	mokrā	12 B	101,51	101,52	101,48	101,55	101,5	60,91	61,15	60,88	60,80	60,9	1083,2	2,196
		12 D	101,58	101,50	101,55	101,52	101,5	61,06	60,94	61,37	61,31	61,2	1084,9	2,190
#13	suchā	12 F	101,58	101,47	100,85	101,21	101,3	61,30	61,38	61,08	61,20	61,2	1082,7	2,195
		12 X	101,98	101,81	102,04	102,20	102,0	60,90	60,41	61,17	61,23	60,9	1097,4	2,204
	mokrā	12 Y	101,84	101,72	101,36	102,02	101,7	60,52	60,28	60,63	60,80	60,6	1091,8	2,218
		12 Z	101,58	101,15	101,65	101,48	101,5	61,29	61,71	61,98	61,66	61,7	1095,3	2,197
#13	suchā	13 A	101,54	101,47	101,14	101,55	101,4	63,44	64,03	64,40	64,07	64,0	1082,8	2,095
		13 D	101,45	101,19	101,08	101,86	101,4	62,75	63,48	63,06	63,72	63,3	1092,6	2,139
	mokrā	13 E	101,81	102,18	102,08	101,95	102,0	63,34	63,63	63,70	63,74	63,6	1090,4	2,098
		13 B	101,02	101,55	101,58	101,28	101,4	64,27	64,33	63,56	64,13	64,1	1090,3	2,109
#13	suchā	13 C	101,49	101,60	101,42	101,55	101,5	63,11	63,78	63,36	63,83	63,5	1092,9	2,126
		13 F	101,57	101,61	101,32	101,66	101,5	63,99	64,02	63,92	64,75	64,2	1090,6	2,099
	mokrā	13 X	101,55	101,48	101,69	101,40	101,5	64,32	64,58	64,47	64,50	64,5	1100,6	2,109
		13 Y	101,85	102,09	102,01	101,97	102,0	63,40	63,54	63,66	63,51	63,5	1103,3	2,126
#13	mráz	13 Z	101,77	101,82	101,45	101,72	101,7	62,84	62,71	62,45	62,81	62,7	1107,9	2,176



P 4: Výsledky zkoušky stanovení pevnosti v příčném tahu včetně odolnosti proti účinkům vody a mrazu

Směs	Cyklus	Těleso	Výška [mm]	Průměr [mm]	Příčná deformace [mm]		Síla porušení tělesa [kN]		Pevnost v příčném tahu [MPa]		Poměrné přetvoření [%]		Modul pružnosti [MPa]			ITSR [%]
					[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[%]	[%]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
#1	suchá	1 A	63,10	101,72	3,20	14,77	1,46	1,46	6,60	55,63	55,63	5,60	55,63	-		
		1 C	63,13	101,66	2,44	16,07	1,59	1,57	5,03	55,61	55,61	5,60	55,73			
		1 D	62,75	101,95	2,51	16,53	1,64	1,64	5,16	55,94	55,94	5,16	55,94			
	mokrá	1 B	63,17	101,64	2,79	13,94	1,38	1,38	5,76	52,10	52,10	5,76	52,10		92,8%	
		1 E	62,24	102,08	2,47	14,91	1,49	1,46	5,08	52,88	52,88	5,08	52,88			
		1 F	63,11	101,69	2,79	15,01	1,49	1,49	5,75	52,15	52,15	5,75	52,15			
	mráz	1 X	62,47	101,96	3,69	12,78	1,28	1,28	7,59	38,90	38,90	7,59	38,90		84,0%	
		1 Y	62,07	101,44	3,06	13,44	1,36	1,32	6,33	39,14	39,14	6,33	38,96			
		1 Z	62,58	101,42	3,03	13,12	1,32	1,32	6,27	38,83	38,83	6,27	38,83			
#2	suchá	2 A	61,31	101,65	2,67	16,36	1,67	1,66	5,51	56,44	56,44	5,51	56,44	-		
		2 E	61,26	101,45	2,91	16,66	1,71	1,66	6,02	56,49	56,49	6,02	56,51			
		2 F	61,16	101,63	2,93	15,74	1,61	1,61	6,05	56,59	56,59	6,05	56,59			
	mokrá	2 B	60,93	101,64	3,41	13,66	1,40	1,40	7,04	40,56	40,56	7,04	40,56	86,7%		
		2 C	60,86	101,39	3,30	13,74	1,42	1,44	6,83	40,61	40,61	6,83	40,58			
		2 D	60,92	101,55	3,56	14,62	1,50	1,50	7,35	40,57	40,57	7,35	40,57			
mráz	2 X	61,58	101,41	2,71	13,98	1,43	1,43	5,61	48,89	48,89	5,61	48,89	78,6%			
	2 Y	61,05	101,54	2,77	11,48	1,18	1,31	5,72	49,32	49,32	5,72	48,98				
	2 Z	61,79	101,72	2,24	13,02	1,32	1,32	4,62	48,72	48,72	4,62	48,72				
#3	suchá	3 A	61,39	101,46	2,44	13,33	1,36	1,36	5,04	50,60	50,60	5,04	50,60	-		
		3 D	61,47	101,33	2,69	13,99	1,43	1,38	5,57	50,53	50,53	5,57	50,64			
		3 F	61,16	101,56	2,73	13,10	1,34	1,34	5,64	50,78	50,78	5,64	50,78			
	mokrá	3 B	61,57	101,48	3,08	13,85	1,41	1,41	6,37	38,54	38,54	6,37	38,54	97,0%		
		3 C	61,59	101,21	3,32	12,37	1,26	1,34	6,88	38,53	38,53	6,88	38,59			
		3 E	61,34	101,42	3,60	13,07	1,34	1,34	7,45	38,69	38,69	7,45	38,69			
	mráz	3 X	59,87	102,00	3,34	11,15	1,16	1,16	6,87	36,10	36,10	6,87	36,10	87,9%		
		3 Y	59,88	101,97	2,84	12,29	1,28	1,21	5,84	36,09	36,09	5,84	35,51			
		3 Z	62,93	101,68	3,71	11,95	1,19	1,19	7,65	34,35	34,35	7,65	34,35			



Směs	Cyklus	Těleso	Výška [mm]	Průměr [mm]		Příčná deformace [mm]		Síla porušení tělesa [kN]		Pevnost v příčném tahu [MPa]		Poměrné přetvoření [%]		Modul pružnosti [MPa]		ITSR [%]	
				[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[%]	[%]	[MPa]	[MPa]		
#4	suchá	4 A	59,63	101,86	2,43		16,66		1,75		5,00		62,71		63,32	-	
		4 C	59,54	101,49	2,32	15,42		1,57		1,63		4,79		62,81			
		4 D	58,04	102,90	2,72	14,65		1,56		1,43		5,54		64,43			
	mokrā	4 B	59,37	101,63	3,24		13,56		1,43		6,69		42,93		42,59	90,1%	
		4 E	60,30	101,60	3,17	14,08		1,46		1,47		6,54		42,27			
		4 F	59,90	101,51	3,54	14,35		1,50		1,35		7,31		42,55			
	mráz	4 X	54,96	101,54	2,82		11,45		1,31		5,83		42,94		49,46	82,7%	
		4 Y	54,32	101,46	3,18	11,99		1,39		1,35		6,57		55,99			
		5 A	59,55	101,58	2,21	15,15		1,59		1,56		4,56		64,13			
	suchā	5 B	59,54	101,89	2,48		13,69		1,44		5,11		64,13		64,27	-	
		5 D	59,16	101,50	2,35	15,67		1,66		1,36		4,86		64,55			
		5 C	59,45	101,49	2,88	13,05		1,38		1,36		5,95		46,54			
mokrā	5 E	59,92	101,40	2,82		12,90		1,35		5,83		46,17		46,33	87,0%		
	5 F	59,76	101,48	2,78	12,89		1,35		1,29		5,75		46,29				
	5 X	60,06	101,67	2,96	11,64		1,21		1,36		6,11		42,19				
mráz	5 Y	59,47	101,61	3,16		12,56		1,32		6,52		42,61		42,38	82,5%		
	5 Z	59,85	101,71	2,69	12,76		1,33		1,29		5,55		42,34				
	6 A	61,31	102,87	2,94	16,74		1,69		1,87		5,99		71,90				
suchā	6 E	62,54	102,06	2,37		19,72		1,97		5,27		70,49		70,79	-		
	6 F	63,01	101,48	2,39	19,74		1,97		1,87		4,94		69,97				
	6 B	63,89	101,55	2,38	13,61		1,34		1,40		4,92		59,68				
mokrā	6 C	62,78	101,54	1,99		13,71		1,37		4,62		60,73		60,40	74,8%		
	6 D	62,71	101,43	2,33	14,97		1,50		1,40		4,82		60,79				



Směs	Cyklus	Těleso	Výška [mm]	Průměr [mm]	Příčná deformace		Síla porušení tělesa		Pevnost v příčném tahu		Poměrné přetvoření		Modul pružnosti		ITSR [%]
					[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[%]	[%]	[MPa]	[MPa]	
#7	suchá	7 A	62,15	101,73	1,97	15,11	1,52	4,06	58,91	1,52	1,52	5,23	57,92	-	
		7 C	64,67	101,49	3,35	16,04	1,56	6,92	56,62						
		7 E	62,87	101,70	2,28	14,92	1,49	4,70	58,24						
	mokrý	7 B	62,68	101,54	2,75	9,49	0,95	5,68	34,25	0,95	0,95	5,60	33,92	62,8%	
		7 D	64,06	101,43	2,26	9,54	0,93	4,67	33,52						
		7 F	63,18	102,04	3,14	9,94	0,98	6,45	33,98						
	mráz	7 X	62,32	101,50	2,21	12,17	1,22	4,57	48,93	1,22	1,22	4,69	49,40	76,5%	
		7 Y	62,38	102,13	2,32	10,82	1,08	4,76	48,88						
		7 Z	60,54	101,92	2,30	11,49	1,19	4,73	50,37						
suchá	8 A	61,03	101,35	2,97	20,48	2,11	6,15	77,87	2,11	2,11	5,59	77,99	-		
	8 E	61,07	102,05	2,64	23,30	2,38	5,43	77,82							
	8 F	60,73	101,79	2,52	20,19	2,08	5,19	78,26							
mokrý	8 B	60,06	101,73	2,95	13,41	1,40	6,08	41,62	1,40	1,40	7,09	40,95	66,6%		
	8 C	62,08	101,60	4,30	12,67	1,28	8,88	40,27							
	8 D	61,04	101,61	3,05	16,55	1,70	6,30	40,96							
mráz	8 X	60,11	101,60	2,34	14,62	1,52	4,83	60,75	1,52	1,52	4,90	59,91	67,4%		
	8 Y	61,44	102,03	2,62	14,19	1,44	5,39	59,44							
	8 Z	61,33	101,72	2,17	14,30	1,46	4,47	59,54							
suchá	9 A	61,62	102,83	3,25	19,61	1,97	6,63	60,87	1,97	1,97	6,75	59,71	-		
	9 B	63,20	101,62	2,70	21,98	2,18	5,57	59,35							
	9 E	63,68	101,74	3,91	19,64	1,93	8,06	58,90							
mokrý	9 C	64,27	101,69	3,22	14,88	1,45	6,64	39,71	1,45	1,45	7,81	40,04	77,6%		
	9 D	64,06	101,76	3,34	17,26	1,69	6,88	39,84							
	9 F	62,90	102,16	4,82	15,94	1,58	9,90	40,57							
mráz	9 X	61,68	101,68	3,64	13,43	1,36	7,51	45,16	1,36	1,36	5,83	45,32	65,5%		
	9 Y	60,69	101,72	2,28	12,61	1,30	4,70	45,90							
	9 Z	62,02	101,54	2,55	13,02	1,32	5,27	44,91							



Směs	Cyklus	Těleso	Výška [mm]	Průměr [mm]	Příčná deformace		Síla porušení tělesa		Pevnost v přičném tahu		Poměrné přetvoření		Modul pružnosti			ITSR [%]
					[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[%]	[%]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
#10	suchá	10 A	62,92	101,35	2,82	17,20	1,72	5,84	1,76	59,42	5,84	59,42	-			
		10 B	62,75	101,46	2,29	19,72	1,97	4,73	1,76	59,58	4,73	59,58				
		10 F	61,80	101,98	3,40	15,75	1,59	6,99	1,76	60,49	6,99	60,49				
#10	mokrā	10 C	60,01	101,50	3,61	15,29	1,60	7,46	1,40	40,59	7,46	40,59	79,5%			
		10 D	63,42	101,51	3,38	12,59	1,25	6,98	1,40	50,44	6,98	50,44				
		10 E	61,43	102,84	3,52	13,46	1,36	7,18	1,40	50,45	7,18	50,45				
#11	suchā	11 A	60,14	101,37	2,33	17,65	1,84	4,82	1,90	71,50	4,82	71,50	-			
		11 E	60,18	101,98	2,60	17,94	1,86	5,35	1,90	71,45	5,35	71,45				
		11 F	60,96	101,44	2,78	19,30	1,99	5,75	1,90	70,54	5,75	70,54				
#11	mokrā	11 B	59,24	101,92	3,36	12,10	1,28	6,92	1,24	38,72	6,92	38,72	65,1%			
		11 C	62,53	101,85	2,79	12,97	1,30	5,75	1,24	36,69	5,75	36,69				
		11 D	60,90	101,94	3,36	11,05	1,13	6,91	1,24	37,67	6,91	37,67				
#11	mráz	11 X	56,30	102,88	3,60	14,48	1,59	7,34	1,61	52,80	7,34	52,80	84,8%			
		11 Y	58,36	101,62	2,42	14,25	1,53	5,00	1,61	50,93	5,00	50,93				
		11 Z	55,83	102,78	2,94	15,36	1,70	6,00	1,61	53,23	6,00	53,23				
#12	suchā	12 A	61,02	102,03	2,37	18,36	1,88	4,87	1,95	73,93	4,87	73,93	-			
		12 C	61,51	101,28	2,41	18,88	1,93	4,99	1,95	73,34	4,99	73,34				
		12 E	60,63	101,85	2,85	19,75	2,04	5,87	1,95	74,41	5,87	74,41				
#12	mokrā	12 B	60,94	101,52	3,09	12,74	1,31	6,38	1,31	39,49	6,38	39,49	67,0%			
		12 D	61,17	101,54	3,03	12,47	1,28	6,26	1,31	39,34	6,26	39,34				
		12 F	61,24	101,28	3,45	12,92	1,33	7,15	1,31	39,30	7,15	39,30				
#12	mráz	12 X	60,93	102,01	2,55	12,30	1,26	5,24	1,24	47,00	5,24	47,00	63,5%			
		12 Y	60,56	101,74	2,62	12,12	1,25	5,40	1,24	47,29	5,40	47,29				
		12 Z	61,66	101,47	2,47	11,80	1,20	5,11	1,24	46,44	5,11	46,44				
#13	suchā	13 A	63,99	101,43	2,43	19,01	1,86	5,03	1,75	59,77	5,03	59,77	-			
		13 D	63,25	101,40	2,90	17,60	1,75	6,00	1,75	60,47	6,00	60,47				
		13 E	63,60	102,01	3,07	16,58	1,63	6,31	1,75	60,13	6,31	60,13				
#13	mokrā	13 B	64,07	101,36	3,00	11,27	1,10	6,21	1,08	37,65	6,21	37,65	61,7%			
		13 C	63,52	101,52	2,79	11,42	1,13	5,76	1,08	37,98	5,76	37,98				
		13 F	64,17	101,54	2,46	10,26	1,00	5,08	1,08	37,59	5,08	37,59				
#13	mráz	13 X	64,47	101,53	2,39	12,36	1,20	4,94	1,25	52,46	4,94	52,46	71,3%			
		13 Y	63,53	101,98	2,11	12,94	1,27	4,34	1,25	53,23	4,34	53,23				
		13 Z	62,70	101,69	2,28	12,66	1,26	4,70	1,25	53,93	4,70	53,93				



P 5: Výsledky zkoušky stanovení modulu tuhosti nezestárých těles

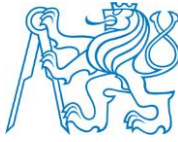
Směs	Teplota	Těleso	Průměr		Tloušťka		Modul tuhosti			Horizontální napětí			Horizontální deformace			Vertikální síla		
			[mm]	[mm]	1. měření [MPa]	2. měření [MPa]	Průměr [MPa]	1. měření [kPa]	2. měření [kPa]	Průměr [kPa]	1. měření [μm]	2. měření [μm]	Průměr [μm]	1. měření [kN]	2. měření [kN]	Průměr [kN]		
#1	0 °C	11	102,2	64,0	18513	18601	18 557	1 051,1	1 058,4	17838	1 027,0	4,9	5,0	10,8	10,9	10,6		
		12	103,0	63,1	17013	17263	17 138	982,8	995,3									
		13	101,6	65,4	17952	16983	17 468	1 045,3	986,1									
		14	102,9	63,3	18638	18536	18 587	1 062,4	1 055,8									
		15	101,4	65,4	18378	17612	17 995	1 057,6	1 027,6									
		16	102,0	64,9	17560	17011	17 286	1 018,7	983,4									
	15 °C	11	102,2	64,0	7214	6936	7 075	387,2	368,0	7070	377,0	4,9	5,1	3,6	3,8			
		12	103,0	63,1	6791	7020	6 906	350,2	375,7									
		13	101,6	65,4	7342	6698	7 020	392,8	357,9									
		14	102,9	63,3	7124	6908	7 016	376,1	363,8									
		15	101,4	65,4	7561	7055	7 308	406,3	381,7									
		16	102,0	64,9	7171	7018	7 095	384,2	379,9									
	27 °C	11	102,2	64,0	2492	2392	2 442	117,8	110,8	2183	102,7	5,0	4,9	1,2	1,1			
		12	103,0	63,1	2082	1989	2 036	98,1	91,9									
		13	101,6	65,4	2015	1889	1 952	95,1	90,5									
		14	102,9	63,3	2112	2284	2 198	97,6	107,1									
15		101,4	65,4	2373	2228	2 301	112,0	106,7										
16		102,0	64,9	2216	2124	2 170	103,8	100,7										
#2	0 °C	21	101,4	63,7	17451	16984	17 218	1 023,1	995,9	16920	993,6	5,1	5,0	10,4	10,1			
		22	101,5	64,8	16533	16202	16 368	985,8	949,6									
		23	101,5	63,6	16495	16905	16 700	976,4	1 001,6									
		24	101,9	62,8	17009	18049	17 529	999,6	1 060,1									
		25	101,7	64,1	17179	16066	16 623	1 005,4	941,2									
		26	102,0	63,7	17509	16657	17 083	1 009,7	974,6									
	15 °C	21	101,4	63,7	8104	7536	7 820	434,0	414,2	7698	411,1	5,0	5,1	4,4	4,2			
		22	101,5	64,8	7658	7339	7 499	412,7	395,4									
		23	101,5	63,6	8144	7532	7 838	438,9	408,5									
		24	101,9	62,8	7903	8175	8 039	425,2	438,3									
27 °C	25	101,7	64,1	7126	7138	7 132	379,8	348,7	2811	134,0	5,0	5,1	3,9	3,9				
	26	102,0	63,7	8209	7511	7 860	427,0	409,9										
	21	101,4	63,7	2960	2616	2 788	143,0	123,8										
	22	101,5	64,8	2935	2603	2 769	138,9	125,5										
	23	101,5	63,6	2974	2753	2 864	138,7	129,1										
	24	101,9	62,8	2987	2898	2 943	142,1	138,5										
25	101,7	64,1	2800	2692	2 746	135,6	128,7											
26	102,0	63,7	2793	2718	2 756	131,4	132,2											



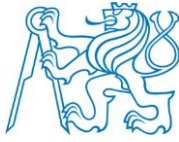
Směs	Teplota	Těleso	Průměr Tloušťka		Modul tuhosti			Horizontální napětí			Horizontální deformace			Vertikální síla		
			[mm]	[mm]	1. měření [MPa]	2. měření [MPa]	Průměr [MPa]	1. měření [kPa]	2. měření [kPa]	Průměr [kPa]	1. měření [μm]	2. měření [μm]	Průměr [μm]	1. měření [kN]	2. měření [kN]	Průměr [kN]
#3	0 °C	31	102,1	63,3	15748	15896	15 822	922,0	936,9		5,0	5,1	9,4	9,5		
		32	102,0	62,6	17182	17026	17 104	1 005,8	1 006,0		5,0	5,1	10,1	10,1		
		33	101,6	63,4	17173	15910	16 542	1 013,3	928,1	1 017,6	5,0	5,0	10,3	9,4	10,3	
		34	101,5	63,4	18920	17775	18 348	1 091,9	1 033,9		5,0	5,0	11,0	10,5		
		35	101,7	62,9	17931	17915	17 923	1 049,1	1 044,1		5,0	5,0	10,5	10,5		
		36	102,0	62,5	19232	18757	18 995	1 103,0	1 077,5		5,0	5,0	11,1	10,8		
#3	15 °C	31	102,1	63,3	6021	6267	6 144	324,0	330,5		5,0	5,0	3,3	3,4		
		32	102,0	62,6	6717	6067	6 392	358,4	330,8		5,0	5,0	3,6	3,3		
		33	101,6	63,4	6254	6825	6 540	338,9	367,3	324,5	5,1	5,0	3,4	3,7	3,5	
		34	101,5	63,4	6747	6595	6 671	364,7	355,4		5,0	5,0	3,7	3,6		
		35	101,7	62,9	6242	7086	6 664	333,7	375,8		5,0	5,0	3,4	3,8		
		36	102,0	62,5	6992	6299	6 646	372,6	339,0		5,0	5,1	3,7	3,4		
#3	27 °C	31	102,1	63,3	2303	2173	2 238	107,9	97,9		5,0	4,9	1,1	1,0		
		32	102,0	62,6	2487	2212	2 350	119,4	104,8		5,1	5,0	1,2	1,1		
		33	101,6	63,4	2415	2336	2 376	114,0	115,5	114,4	4,9	5,0	1,2	1,2	1,2	
		34	101,5	63,4	2759	2688	2 724	127,7	123,1		4,9	4,9	1,3	1,2		
		35	101,7	62,9	2456	2287	2 372	117,0	103,3		5,1	4,9	1,2	1,0		
		36	102,0	62,5	2643	2491	2 567	127,9	114,6		5,2	4,9	1,3	1,2		
#4	0 °C	41	101,4	62,3	17953	15786	16 870	1 072,7	914,2		5,1	4,9	10,6	9,1		
		42	101,7	62,3	16098	16518	16 308	953,2	974,1		5,1	5,1	9,5	9,7		
		43	101,9	61,6	17434	17389	17 412	1 011,6	1 041,9	1 035,0	4,9	5,1	10,0	10,3	10,2	
		44	101,5	61,2	19884	18997	19 441	1 170,4	1 064,1		5,1	4,9	11,4	10,4		
		45	102,1	61,2	19121	17420	18 271	1 113,4	1 025,8		5,0	5,0	10,9	10,1		
		46	101,6	61,1	17312	18218	17 765	1 019,2	1 059,9		5,0	5,0	9,9	10,3		
#4	15 °C	41	101,4	62,3	7046	7513	7 280	382,2	412,8		5,0	5,1	3,8	4,1		
		42	101,7	62,3	6988	7165	7 077	380,3	383,0		5,1	5,0	3,8	3,8		
		43	101,9	61,6	6868	7318	7 093	366,4	387,6	396,0	5,0	5,0	3,6	3,8	3,9	
		44	101,5	61,2	7519	7531	7 525	408,6	406,9		5,1	5,0	4,0	4,0		
		45	102,1	61,2	7794	7410	7 602	411,7	394,6		5,0	5,0	4,0	3,9		
		46	101,6	61,1	7467	7692	7 580	401,9	415,5		5,0	5,0	3,9	4,1		
#4	27 °C	41	101,4	62,3	3124	3248	3 186	153,8	155,8		5,1	5,1	1,5	1,6		
		42	101,7	62,3	3179	2963	3 071	145,0	139,5		4,8	5,0	1,4	1,4		
		43	101,9	61,6	3075	2868	2 972	151,6	134,4	144,9	5,2	5,0	1,5	1,3	1,4	
		44	101,5	61,2	3286	3128	3 207	154,6	154,9		5,0	5,1	1,5	1,5		
		45	102,1	61,2	2858	2562	2 710	136,2	121,3		5,0	4,9	1,3	1,2		
		46	101,6	61,1	3158	2845	3 002	159,8	131,6		5,3	4,8	1,6	1,3		



Směs	Teplota Těleso	Průměr		Tloušťka		Modul tuhosti			Horizontální napětí			Horizontální deformace			Vertikální síla		
		[mm]	[mm]	1. měření [MPa]	2. měření [MPa]	Průměr [MPa]	1. měření [kPa]	2. měření [kPa]	Průměr [kPa]	1. měření [μm]	2. měření [μm]	Průměr [μm]	1. měření [kN]	2. měření [kN]	Průměr [kN]		
#5	0 °C	51	101,6	62,5	15962	15890	15 926	933,4	910,5		5,0	4,9	9,3	9,1			
		52	101,6	62,9	15359	16078	15 719	902,4	951,4		5,0	5,0	9,1	9,6			
		53	101,5	63,4	17624	16622	17 123	1 028,0	962,2	991,9	5,0	4,9	10,4	9,7	5,0		
		54	102,0	61,3	16941	16823	16 882	993,3	984,6		5,0	5,0	9,8	9,7			
		55	101,9	61,6	17961	16505	17 233	1 057,1	953,7		5,1	4,9	10,4	9,4			
		56	101,5	62,5	17507	20690	19 099	1 028,8	1 197,4		5,0	5,0	10,3	11,9			
#5	15 °C	51	101,6	62,5	7793	8208	8 001	413,4	438,2		5,0	5,0	4,1	4,4			
		52	101,6	62,9	8104	7969	8 037	430,3	425,4		5,0	5,0	4,3	4,3			
		53	101,5	63,4	8226	8211	8 219	442,6	441,2	432,4	5,0	5,0	4,5	4,5	5,0		
		54	102,0	61,3	8282	8100	8 191	442,4	429,0		5,0	5,0	4,3	4,2			
		55	101,9	61,6	8126	7851	7 989	432,5	416,5		5,0	5,0	4,3	4,1			
		56	101,5	62,5	8534	8068	8 301	449,2	427,9		5,0	5,0	4,5	4,3			
#5	27 °C	51	101,6	62,5	2850	3062	2 956	132,1	143,3		4,8	5,0	1,3	1,4			
		52	101,6	62,9	3271	3134	3 203	150,4	145,2		4,8	4,9	1,5	1,5			
		53	101,5	63,4	3266	3044	3 155	154,9	145,6	152,0	5,0	5,0	1,6	1,5	5,0		
		54	102,0	61,3	3310	3202	3 256	157,0	155,0		5,0	5,1	1,5	1,5			
		55	101,9	61,6	3520	3120	3 320	175,1	143,8		5,2	4,9	1,7	1,4			
		56	101,5	62,5	3529	3092	3 311	171,4	150,3		5,0	5,0	1,7	1,5			
#6	0 °C	61	101,4	65,2	16127	17554	16 841	945,9	1 011,6		5,0	5,0	9,8	10,5			
		62	102,0	64,7	16746	17709	17 228	987,5	995,2		5,1	4,8	10,2	10,3			
		63	102,0	65,0	14918	16356	15 637	887,7	980,6	971,2	5,1	5,2	9,2	10,2	5,0		
		64	101,7	65,8	16934	15650	16 292	991,7	939,2		5,0	5,1	10,4	9,9			
		65	101,7	65,2	16553	17158	16 856	973,2	1 012,4		5,0	5,0	10,1	10,5			
		66	101,7	66,1	16835	16468	16 652	989,0	940,4		5,0	4,9	10,4	9,9			
#6	15 °C	61	101,4	65,2	8232	7938	8 085	443,1	421,9		5,0	5,0	4,6	4,4			
		62	102,0	64,7	8759	7925	8 342	465,1	423,5		5,0	5,0	4,8	4,4			
		63	102,0	65,0	8333	7897	8 115	435,5	415,5	429,4	4,9	4,9	4,5	4,3	5,0		
		64	101,7	65,8	8037	7962	8 000	430,4	429,1		5,0	5,0	4,5	4,5			
		65	101,7	65,2	7804	7964	7 884	413,6	429,5		5,0	5,0	4,3	4,5			
		66	101,7	66,1	8057	7797	7 927	431,0	414,4		5,0	5,0	4,6	4,4			
#6	27 °C	61	101,4	65,2	3328	3505	3 417	157,2	162,8		4,9	4,9	1,6	1,7			
		62	102,0	64,7	3613	3733	3 673	175,7	176,6		5,1	5,0	1,8	1,8			
		63	102,0	65,0	3790	3375	3 583	185,2	157,8	166,6	5,1	5,0	1,9	1,6	5,0		
		64	101,7	65,8	3604	3335	3 470	172,8	162,4		5,0	5,1	1,8	1,7			
		65	101,7	65,2	3438	3170	3 304	164,0	156,8		4,9	5,1	1,7	1,6			
		66	101,7	66,1	3525	3385	3 455	172,2	155,6		5,1	4,8	1,8	1,6			



Směs	Teplota	Těleso	Průměr		Tloušťka	Modul tuhosti			Horizontální napětí			Horizontální deformace			Vertikální síla		
			[mm]	[mm]		1. měření [MPa]	2. měření [MPa]	Průměr [MPa]	1. měření [kPa]	2. měření [kPa]	Průměr [kPa]	1. měření [μm]	2. měření [μm]	Průměr [μm]	1. měření [kN]	2. měření [kN]	Průměr [kN]
#7	0 °C	71	101,5	65,4	13657	13249	13 453	13014	846,6	779,1		5,2	5,0	8,8	8,1	8,0	
		72	101,6	65,8	12559	12740	12 650		745,5	762,6		5,0	5,0	7,8	7,9		
		73	102,1	65,1	13382	13606	13 494		783,5	798,2		5,0	5,0	8,2	8,3		
		74	102,2	64,9	12096	12598	12 347		712,7	731,2		5,0	4,9	7,4	7,6		
		75	101,6	65,5	12700	13983	13 342		738,9	831,5		4,9	5,0	7,7	8,7		
		76	101,7	65,3	12682	12911	12 797		750,6	757,8		5,0	5,0	7,8	7,9		
	15 °C	71	101,5	65,4	7351	6759	7 065	6658	392,9	363,6		5,0	5,1	4,1	3,8		
		72	101,6	65,8	6005	6236	6 121		317,5	337,2		5,0	5,1	3,3	3,5		
		73	102,1	65,1	6742	6953	6 848		336,3	369,4		4,9	5,0	3,5	3,9		
		74	102,2	64,9	6072	6350	6 211		312,2	336,5		4,9	5,0	3,3	3,5		
		75	101,6	65,5	6836	7205	7 021		364,2	381,1		5,0	4,9	3,8	4,0		
		76	101,7	65,3	6654	6728	6 691		351,7	357,3		5,0	5,0	3,7	3,7		
27 °C	71	101,5	65,4	3406	3224	3 315	3044	151,4	1 498,3		4,7	4,9	1,6	1,6	1,5		
	72	101,6	65,8	2850	2722	2 786		128,4	125,0		4,8	4,8	1,4	1,3			
	73	102,1	65,1	3212	3236	3 224		148,8	148,6		5,0	5,0	1,6	1,6			
	74	102,2	64,9	2882	2881	2 882		142,5	439,3		5,2	5,1	1,5	1,5			
	75	101,6	65,5	3082	2958	3 020		149,6	141,2		5,1	5,0	1,6	1,5			
	76	101,7	65,3	3065	3010	3 038		139,8	135,6		4,8	4,8	1,5	1,4			
#8	0 °C	81	102,7	56,7	17729	16811	17 270	18107	1 016,9	980,0	1 057,6	4,9	5,0	9,3	9,0	9,8	
		82	101,8	57,8	18357	17790	18 074		1 084,4	1 055,2		5,0	5,0	10,0	9,8		
		83	101,9	58,4	19482	19219	19 351		1 131,0	1 115,1		5,0	5,0	10,6	10,4		
		84	102,3	57,7	17423	17681	17 652		1 024,8	1 051,9		5,0	5,0	9,5	9,8		
		85	102,2	57,5	18949	18479	18 714		1 104,8	1 081,1		5,0	5,0	10,2	10,0		
		86	101,8	59,0	17672	17488	17 580		1 022,6	1 023,3		4,9	5,0	9,7	9,7		
	15 °C	81	102,7	56,7	7842	8881	8 362	8451	423,3	474,5	450,0	5,1	5,0	3,9	4,3	4,2	
		82	101,8	57,8	8438	8148	8 293		451,6	438,7		5,0	5,0	4,2	4,1		
		83	101,9	58,4	8961	8915	8 938		485,3	479,5		5,1	5,0	4,5	4,5		
		84	102,3	57,7	8449	7548	7 999		431,8	407,3		4,8	5,0	4,0	3,8		
		85	102,2	57,5	9463	8910	9 187		487,9	472,1		4,8	5,0	4,5	4,4		
		86	101,8	59,0	8125	7727	7 926		434,4	413,1		5,0	5,0	4,1	3,9		
27 °C	81	102,7	56,7	3479	3566	3 523	3452	164,6	166,6	162,6	5,0	5,0	1,5	1,5	1,5		
	82	101,8	57,8	3495	3240	3 368		162,1	161,9		4,9	5,2	1,5	1,5			
	83	101,9	58,4	3690	3623	3 657		173,1	171,8		4,9	5,0	1,6	1,6			
	84	102,3	57,7	3062	3277	3 170		149,0	131,7		5,1	4,3	1,4	1,2			
	85	102,2	57,5	3898	3725	3 812		186,2	179,1		5,0	5,1	1,7	1,7			
	86	101,8	59,0	3163	3201	3 182		150,4	154,2		5,0	5,0	1,4	1,5			



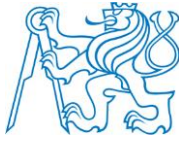
ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb
Nízkoteplotní asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu

Směs	Teplota	Těleso	Průměr		Tloušťka		Modul tuhosti			Horizontální napětí			Horizontální deformace			Vertikální síla		
			[mm]	[mm]	1. měření [MPa]	2. měření [MPa]	Průměr [MPa]	1. měření [kPa]	2. měření [kPa]	Průměr [kPa]	1. měření [μm]	2. měření [μm]	Průměr [μm]	1. měření [kN]	2. měření [kN]	Průměr [kN]		
#9	0 °C	91	101,6	65,7	17466	18613	18 040	1 019,5	1 100,0		5,0	5,0	10,7	11,5				
		92	101,6	66,6	17959	19214	18 587	1 056,3	1 138,1		5,0	5,1	11,2	12,1				
		93	102,3	66,2	18197	18431	18 314	1 098,7	1 082,4	1 077,1	5,2	5,0	11,7	11,5	5,0			
		94	102,2	67,1	18027	19169	18 598	1 046,3	1 112,5		5,0	5,0	11,3	12,0				
		95	101,9	65,9	18236	17383	17 810	1 056,0	1 031,1		4,9	5,1	11,1	10,9				
		96	101,6	66,6	18865	18361	18 613	1 104,4	1 079,3		5,0	5,0	11,7	11,5				
	15 °C	91	101,6	65,7	9142	9747	9 445	500,8	519,8		5,1	5,0	5,3	5,5				
		92	101,6	66,6	9367	9378	9 373	503,6	503,9		5,0	5,0	5,4	5,4				
		93	102,3	66,2	9199	9486	9 343	483,3	501,6	500,2	4,9	5,0	5,1	5,3	5,0			
		94	102,2	67,1	9311	9274	9 293	506,0	494,7		5,1	5,0	5,5	5,3				
		95	101,9	65,9	9487	9279	9 383	501,8	496,7		4,9	5,0	5,3	5,2				
		96	101,6	66,6	9402	9234	9 318	495,7	494,8		4,9	5,0	5,3	5,3				
27 °C	91	101,6	65,7	3737	3651	3 694	172,0	191,3		4,9	5,0	1,8	1,8					
	92	101,6	66,6	3909	3638	3 774	188,1	171,3		5,1	4,9	2,0	1,8					
	93	102,3	66,2	4002	3942	3 972	194,0	176,9	184,1	5,1	4,8	2,1	1,9	5,0				
	94	102,2	67,1	4145	3707	3 926	195,6	171,0		5,0	4,9	2,1	1,8					
	95	101,9	65,9	3621	3824	3 723	175,2	180,4		5,1	5,0	1,9	1,9					
	96	101,6	66,6	4117	4041	4 079	200,2	193,4		5,1	5,1	2,1	2,1					
#10	0 °C	101	102,1	65,0	15700	15234	15 467	928,5	902,0		5,0	5,1	9,7	9,4				
		102	101,5	64,9	16668	15763	16 216	995,1	929,0		5,0	5,0	10,3	9,6				
		103	102,7	64,9	15831	15381	15 606	929,3	924,3	950,5	5,0	5,1	9,7	9,7	5,0			
		104	101,6	64,4	16953	17030	16 992	998,2	1 001,2		5,0	5,0	10,3	10,4				
		105	101,9	64,8	17229	16749	16 989	982,4	992,8		4,9	5,0	10,2	10,3				
		106	101,5	65,3	16240	15078	15 659	933,4	890,2		4,9	5,0	9,7	9,3				
	15 °C	101	102,1	65,0	7240	7030	7 135	393,3	375,7		5,1	5,0	4,1	3,9				
		102	101,5	64,9	6853	6714	6 784	375,9	362,0		5,1	5,0	3,9	3,8				
		103	102,7	64,9	6823	6991	6 907	364,8	371,1	375,4	5,0	5,0	3,8	3,9	5,0			
		104	101,6	64,4	7666	7309	7 488	405,7	391,1		4,9	5,0	4,2	4,0				
		105	101,9	64,8	7411	6872	7 142	395,1	371,7		5,0	5,0	4,1	3,9				
		106	101,5	65,3	6371	6617	6 494	344,4	354,3		5,0	5,0	3,6	3,7				
27 °C	101	102,1	65,0	2900	2834	2 867	131,1	135,2		5,0	5,0	1,4	1,4					
	102	101,5	64,9	2744	2602	2 673	126,4	128,1		4,8	5,2	1,3	1,3					
	103	102,7	64,9	2631	2726	2 679	125,1	124,9	129,6	5,0	4,9	1,3	1,3	5,0				
	104	101,6	64,4	2980	2886	2 933	145,8	136,9		5,1	5,0	1,5	1,4					
	105	101,9	64,8	3009	3033	3 021	135,7	139,8		4,8	4,9	1,4	1,5					
	106	101,5	65,3	2439	2352	2 396	113,1	111,6		4,9	5,0	1,2	1,2					



ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb
Nízkoteplotní asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu

Směs	Teplota	Těleso	Průměr		Modul tuhosti			Horizontální napětí			Horizontální deformace			Vertikální síla		
			[mm]	[mm]	1. měření [MPa]	2. měření [MPa]	Průměr [MPa]	1. měření [kPa]	2. měření [kPa]	Průměr [kPa]	1. měření [μm]	2. měření [μm]	Průměr [μm]	1. měření [kN]	2. měření [kN]	Průměr [kN]
#11	0 °C	111	101,4	64,4	16667	16282	16 475	1 002,4	953,9		5,1	4,9	10,3	9,8		
		112	102,0	62,5	16513	16762	16 638	975,0	991,1		5,0	5,0	9,8	9,9		
		113	101,2	63,8	16206	16142	16 174	946,1	955,5	975,7	4,9	5,0	9,6	9,7	9,9	
		114	101,2	63,3	16242	16565	16 404	966,3	984,5		5,0	5,0	9,7	9,9		
		115	101,6	64,7	16487	17461	16 974	967,6	1 026,2		5,0	5,0	10,0	10,6		
		116	101,5	64,5	16429	16388	16 409	967,3	972,2		5,0	5,0	10,0	10,0		
	15 °C	111	101,4	64,4	6845	7017	6 931	371,0	364,2		5,0	4,9	3,8	3,7		
		112	102,0	62,5	7229	6945	7 087	383,5	374,9		5,0	5,0	3,8	3,8		
		113	101,2	63,8	7223	7023	7 123	391,3	387,8	383,2	5,0	5,1	3,9	3,9	3,9	
		114	101,2	63,3	7482	7095	7 289	399,1	388,3		4,9	5,1	4,0	3,9		
		115	101,6	64,7	7656	7208	7 432	408,5	379,0		5,0	4,9	4,2	3,9		
		116	101,5	64,5	6831	7192	7 012	370,1	380,6		5,0	4,9	3,8	3,9		
	27 °C	111	101,4	64,4	2845	2856	2 851	139,1	141,3		5,1	5,1	1,4	1,5		
		112	102,0	62,5	2667	2742	2 705	130,0	134,4		5,2	5,1	1,3	1,4		
		113	101,2	63,8	2830	2912	2 871	130,9	142,9	138,1	4,8	5,1	1,3	1,5	1,4	
		114	101,2	63,3	3025	2942	2 984	139,2	134,2		5,0	4,8	1,4	1,4		
115		101,6	64,7	2803	2960	2 882	135,4	139,6		5,1	4,9	1,4	1,4			
116		101,5	64,5	2990	3032	3 011	139,2	150,7		4,9	5,3	1,4	1,6			
#12	0 °C	121	101,6	63,8	18377	18105	18 241	1 049,6	1 050,7		5,0	5,0	10,7	10,7		
		122	101,8	63,2	17835	18047	17 941	1 058,6	1 052,6		5,1	5,0	10,7	10,6		
		123	101,6	63,3	17880	18331	18 106	1 063,4	1 087,1	1 056,5	5,1	5,1	10,7	11,0	10,7	
		124	101,5	63,6	19171	17509	18 340	1 093,3	1 030,2		4,9	5,0	11,1	10,5		
		125	101,6	64,2	18118	18413	18 266	1 065,0	1 067,4		5,1	5,0	10,9	10,9		
		126	101,6	64,3	17820	17532	17 676	1 024,6	1 035,9		4,9	5,1	10,5	10,6		
	15 °C	121	101,6	63,8	8549	8679	8 614	459,1	467,1		5,0	5,0	4,7	4,8		
		122	101,8	63,2	8578	8719	8 649	448,3	460,2		4,9	4,9	4,6	4,7		
		123	101,6	63,3	8800	8502	8 651	475,9	464,6	466,9	5,1	5,1	4,8	4,7	4,8	
		124	101,5	63,6	8883	8574	8 729	473,1	467,4		5,0	5,1	4,8	4,7		
27 °C	125	101,6	64,2	9403	9256	9 330	505,7	494,7		5,1	5,0	5,2	5,1			
	126	101,6	64,3	8231	8202	8 217	446,5	440,2		5,1	5,0	4,6	4,5			
	121	101,6	63,8	3489	3204	3 347	162,1	149,7		5,0	5,0	1,7	1,5			
	122	101,8	63,2	3157	3111	3 134	152,9	144,8		5,1	4,9	1,5	1,5			
	123	101,6	63,3	3535	3165	3 350	168,4	149,6	155,3	5,0	5,0	1,7	1,5	1,6		
	124	101,5	63,6	3371	3088	3 230	164,3	144,9		5,1	5,0	1,7	1,5			
125	101,6	64,2	3355	3634	3 495	164,9	177,5		5,2	5,1	1,7	1,8				
126	101,6	64,3	3006	3101	3 054	142,6	141,4		5,0	4,8	1,5	1,5				



Směs	Teplota	Těleso	Průměr Tloušťka		Modul tuhosti		Horizontální napětí		Horizontální deformace			Vertikální síla				
			[mm]	[mm]	1. měření [MPa]	2. měření [MPa]	Průměr [MPa]	1. měření [kPa]	2. měření [kPa]	Průměr [kPa]	1. měření [μm]	2. měření [μm]	Průměr [μm]	1. měření [kN]	2. měření [kN]	Průměr [kN]
#13	0 °C	131	101,5	66,3	14952	15009	14 981	894,5	883,7		5,1	5,0		9,5	9,3	
		132	101,9	66,2	15497	14416	14 957	907,4	848,0		5,0	5,0		9,6	9,0	
		133	101,8	66,1	13672	13475	13 574	814,6	795,5	14826	5,1	5,0		8,6	8,4	
		134	101,5	66,2	14430	14302	14 366	848,1	843,4		5,0	5,0	5,0	9,0	8,9	9,2
		135	101,6	66,0	15375	15591	15 483	906,9	917,9		5,0	5,0		9,6	9,7	
		136	101,9	66,1	16062	15126	15 594	935,5	890,3		5,0	5,0		9,9	9,4	
	15 °C	131	101,5	66,3	8616	7638	8 127	471,0	406,4		5,1	5,0		5,0	4,3	
		132	101,9	66,2	6894	7161	7 028	366,4	381,2		5,0	5,0		3,9	4,0	
		133	101,8	66,1	7464	6606	7 035	399,5	349,8	7360	5,0	5,0		4,2	3,7	
		134	101,5	66,2	7066	6514	6 790	378,6	358,2		5,0	5,0	5,0	4,0	3,8	4,2
		135	101,6	66,0	7112	8557	7 835	380,5	463,1		5,0	5,1		4,0	4,9	
		136	101,9	66,1	7320	7366	7 343	386,6	390,2		5,0	5,0		4,1	4,1	
27 °C	131	101,5	66,3	3094	2908	3 001	145,5	143,0		5,0	5,1		1,5	1,5		
	132	101,9	66,2	2458	2591	2 525	117,0	123,1		5,0	5,0		1,2	1,3		
	133	101,8	66,1	2762	2825	2 794	131,1	134,1	2878	5,0	5,0	5,0	1,4	1,4	1,4	
	134	101,5	66,2	2899	2810	2 855	138,9	133,0		5,0	5,0	5,0	1,5	1,4	1,4	
	135	101,6	66,0	3050	2931	2 991	143,7	141,0		5,0	5,0		1,5	1,5		
	136	101,9	66,1	3190	3023	3 107	152,1	140,0		5,0	5,0		1,6	1,5		



P 6: Výsledky zkoušky stanovení modulu tuhosti zestárých těles

Směs	Teplota Těleso	Průměr [mm]	Tloušťka [mm]	Modul tuhosti			Horizontální napětí			Horizontální deformace			Vertikální síla			
				1. měření [MPa]	2. měření [MPa]	Průměr [MPa]	1. měření [kPa]	2. měření [kPa]	Průměr [kPa]	1. měření [μm]	2. měření [μm]	Průměr [μm]	1. měření [kN]	2. měření [kN]	Průměr [kN]	
#1	15 °C	14	102,9	63,3	9532	9943	9 738	490,2	523,8	506,6	5,0	5,1	5,0	5,0	5,4	5,2
		15	101,4	65,4	9057	10411	9 734	476,7	557,0	506,6	5,0	5,1	5,0	5,0	5,8	
		16	102,0	64,9	9358	9555	9 457	487,6	504,5		5,0	5,1	5,0	5,1	5,3	
#2	15 °C	24	101,9	62,8	10160	10280	10 220	536,2	544,2	522,9	5,0	5,1	5,0	5,0	5,5	5,3
		25	101,7	64,1	10256	9548	9 902	535,2	500,8		5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	
		26	102,0	63,7	9866	9469	9 668	517,8	503,4		5,0	5,1	5,0	5,0	5,1	
#3	15 °C	34	101,5	63,4	9447	9015	9 231	489,4	475,4	481,5	5,0	5,0	5,0	5,0	4,8	4,8
		35	101,7	62,9	9000	9089	9 045	468,7	470,6		5,0	5,0	5,0	5,0	4,7	
		36	102,0	62,5	10156	8711	9 434	530,0	455,0		5,0	5,0	5,0	5,0	4,6	
#4	15 °C	44	101,5	61,2	10072	10068	10 070	531,1	534,5	529,1	5,0	5,1	5,0	5,0	5,2	5,2
		45	102,1	61,2	9640	9752	9 696	505,3	507,4		5,1	5,0	5,0	5,0	5,0	
		46	101,6	61,1	10653	10333	10 493	557,3	539,1		5,0	5,0	5,0	5,0	5,3	
#5	15 °C	54	102,0	61,3	9991	10012	10 002	519,2	517,4	556,9	5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	5,5
		55	101,9	61,6	11361	10786	11 074	595,8	565,1		5,0	5,0	5,0	5,0	5,6	
		56	101,5	62,5	11219	10847	11 033	577,9	565,8		4,9	5,0	4,9	5,0	5,6	
#6	15 °C	64	101,7	65,8	10363	10381	10 372	547,5	530,8	549,8	5,0	5,0	5,0	5,0	5,6	5,8
		65	101,7	65,2	10835	10360	10 598	563,5	539,9		5,0	4,9	5,0	4,9	5,6	
		66	101,7	66,1	10891	10502	10 697	558,4	558,7		4,9	5,1	4,9	5,0	5,9	
#7	15 °C	74	102,2	64,9	8723	8403	8 563	458,9	445,7	471,9	4,9	5,0	4,9	4,8	4,6	4,9
		75	101,6	65,5	8852	9228	9 040	474,8	490,6		5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	
		76	101,7	65,3	8829	9161	8 995	479,0	482,6		5,1	5,0	5,0	5,0	5,0	



Směs	Teplota	Těleso	Průměr Tloušťka		Modul tuhosti			Horizontální napětí			Horizontální deformace			Vertikální síla		
			[mm]	[mm]	1. měření [MPa]	2. měření [MPa]	Průměr [MPa]	1. měření [kPa]	2. měření [kPa]	Průměr [kPa]	1. měření [μm]	2. měření [μm]	Průměr [μm]	1. měření [kN]	2. měření [kN]	Průměr [kN]
#8	15 °C	84	102,3	57,7	10838	12789	11 814	568,4	678,2	597,1	5,0	5,0	5,0	5,3	6,3	5,6
		85	102,2	57,5	11718	11008	11 363	624,2	586,4							
		86	101,8	59,0	10650	10387	10 519	568,9	556,3							
#9	15 °C	94	102,2	67,1	12862	12190	12 526	673,6	643,3	648,9	5,0	5,0	5,0	7,3	6,9	6,9
		95	101,9	65,9	11634	12037	11 836	613,6	635,0							
		96	101,6	66,6	13135	11737	12 436	709,1	618,9							
#10	15 °C	104	101,6	64,4	9872	9256	9 564	521,9	489,7	487,0	5,0	5,0	5,0	5,4	5,0	5,2
		105	101,9	64,8	9002	9081	9 042	476,1	492,0							
		106	101,5	65,3	9401	8309	8 855	506,9	435,6							
#11	15 °C	114	101,2	63,3	9259	9273	9 266	497,0	499,0	486,6	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
		115	101,6	64,7	8913	8960	8 937	476,2	478,2							
		116	101,5	64,5	9727	8562	9 145	521,8	447,5							
#12	15 °C	124	101,5	63,6	11846	12013	11 930	630,0	635,5	622,6	5,0	5,0	5,0	6,4	6,4	6,4
		125	101,6	64,2	12271	11781	12 026	643,7	619,8							
		126	101,6	64,3	10993	11473	11 233	596,3	610,1							
#13	15 °C	134	101,5	66,2	10234	9896	10 065	549,7	512,8	525,6	5,1	5,0	5,0	5,8	5,4	5,5
		135	101,6	66,0	9720	9902	9 811	513,3	526,0							
		136	101,9	66,1	10195	9933	10 064	531,9	520,0							



P 7: Rozměry zkušebních půlválcových těles - nezestárlá

Směs	Těleso	Šířka				Délka			Výška		
		b ₁	b ₂	b ₃	b	l ₁	l ₂	l	h ₁	h ₂	h
		[mm]				šířka	[mm]		délka	[mm]	
#1	11	50,46	51,53	50,8	50,93	101,72	101,09	101,41	49,01	49,15	49,08
	11´	50,32	51,65	50,94	50,97	101,10	101,66	101,38	49,15	47,93	48,54
	12	49,61	49,21	48,74	49,19	102,83	102,64	102,74	48,36	48,19	48,28
	12´	50,68	49,57	51,36	50,54	100,10	102,76	101,43	50,86	50,52	50,69
	13	50,87	50,94	50,27	50,69	101,19	100,86	101,03	49,75	49,98	49,87
	13´	51,34	51,23	51,7	51,42	100,27	101,34	100,81	47,89	48,13	48,01
#2	21	50,17	50,88	51,51	50,85	100,76	101,42	101,09	48,76	48,97	48,87
	21´	49,29	49,56	48,90	49,25	101,74	101,11	101,43	48,17	48,84	48,51
	22	51,17	52,26	50,71	51,38	101,39	101,30	101,35	49,23	49,41	49,32
	22´	48,71	50,88	51,01	50,20	100,54	100,85	100,70	48,22	47,94	48,08
	23	49,34	50,92	50,44	50,23	100,39	101,37	100,88	49,56	49,81	49,69
	23´	50,84	49,10	50,22	50,05	101,46	100,94	101,20	47,58	48,10	47,84
#3	31	51,15	50,26	51,18	50,86	101,38	101,48	101,43	49,19	49,30	49,25
	31´	49,72	50,01	48,89	49,54	101,33	101,04	101,19	48,95	48,91	48,93
	32	49,96	50,04	48,90	49,63	101,48	101,35	101,42	49,00	48,79	48,90
	32´	50,68	49,91	51,62	50,74	101,77	101,56	101,67	49,06	49,30	49,18
	33	50,34	49,30	49,45	49,70	101,44	101,55	101,50	50,92	50,61	50,77
	33´	51,11	49,13	50,01	50,08	100,85	101,06	100,96	47,04	47,62	47,33
#4	41	49,20	50,67	49,60	49,82	101,17	100,77	100,97	46,71	46,62	46,67
	41´	50,91	49,75	51,25	50,64	101,60	101,55	101,58	51,01	51,16	51,09
	42	51,58	50,52	51,13	51,08	102,41	101,76	102,09	51,44	51,03	51,24
	42´	51,74	50,07	50,61	50,81	100,99	100,61	100,80	48,04	47,06	47,55
	43	50,56	50,21	49,13	49,97	102,19	101,91	102,05	50,20	50,35	50,28
	43´	51,84	50,61	51,70	51,38	101,56	101,97	101,77	47,90	48,02	47,96
#5	51	51,84	50,62	50,99	51,15	101,67	101,38	101,53	50,26	50,47	50,37
	51´	51,80	50,46	51,04	51,10	101,13	100,69	100,91	47,30	47,31	47,31
	52	50,44	49,46	48,80	49,57	101,06	100,91	100,99	46,66	47,21	46,94
	52´	50,97	49,56	51,47	50,67	101,67	101,65	101,66	50,71	50,67	50,69
	53	50,92	49,68	51,77	50,79	101,17	101,40	101,29	50,75	51,27	51,01
	53´	49,99	49,34	48,25	49,19	100,62	100,55	100,59	46,45	46,72	46,59
#6	61	51,46	50,93	51,11	51,17	101,67	101,48	101,58	48,59	48,50	48,55
	61´	51,74	51,17	51,47	51,46	101,59	101,62	101,61	49,24	49,25	49,25
	62	50,05	50,86	50,95	50,62	101,68	101,66	101,67	49,31	49,02	49,17
	62´	49,66	50,62	49,60	49,96	101,73	101,78	101,76	48,56	48,26	48,41
	63	50,57	50,10	51,31	50,66	101,80	101,91	101,86	49,60	49,64	49,62
	63´	49,99	50,23	49,06	49,76	101,30	102,07	101,69	48,11	48,55	48,33
#7	71	49,64	50,36	51,07	50,36	101,93	101,84	101,89	49,38	49,24	49,31
	71´	49,91	49,06	48,60	49,19	101,16	101,50	101,33	47,89	48,38	48,14
	72	48,07	48,07	47,85	48,00	101,65	100,75	101,20	47,69	48,07	47,88
	72´	49,59	49,07	50,36	49,67	102,06	101,65	101,86	49,83	49,39	49,61
	73	49,39	49,55	50,72	49,89	100,91	102,15	101,53	49,61	49,76	49,69
	73´	48,48	48,77	48,43	48,56	102,56	102,24	102,40	48,35	48,18	48,27



Směs	Těleso	Šířka				Délka			Výška		
		b ₁	b ₂	b ₃	b	l ₁	l ₂	l	h ₁	h ₂	h
		[mm]				šířka	[mm]		délka	[mm]	
#8	81	47,76	47,91	46,59	47,42	103,08	102,49	102,79	51,54	50,91	51,23
	81 ´	50,11	49,51	50,72	50,11	101,81	102,15	101,98	48,64	47,72	48,18
	82	49,23	48,03	47,97	48,41	100,25	101,09	100,67	47,69	48,08	47,89
	82 ´	49,73	48,14	49,65	49,17	101,55	100,65	101,10	49,76	49,94	49,85
	83	47,21	49,93	48,12	48,42	101,56	101,23	101,40	48,96	49,06	49,01
	83 ´	47,40	49,75	49,14	48,76	101,54	101,50	101,52	48,81	48,52	48,67
#9	91	48,72	49,12	49,38	49,07	100,97	100,05	100,51	48,81	47,41	48,11
	91 ´	48,46	48,85	47,67	48,33	101,15	101,59	101,37	48,80	48,60	48,70
	92	49,87	50,09	49,85	49,94	101,03	100,91	100,97	48,44	49,35	48,90
	92 ´	49,92	49,50	48,90	49,44	100,76	101,62	101,19	49,12	48,79	48,96
	93	48,91	48,40	49,55	48,95	101,91	101,46	101,69	49,94	50,19	50,07
	93 ´	48,32	47,91	46,69	47,64	100,76	101,36	101,06	48,32	47,49	47,91
#10	101	50,10	49,72	49,62	49,81	101,40	102,01	101,71	49,97	49,88	49,93
	101 ´	49,64	50,25	50,49	50,13	101,63	101,54	101,59	48,21	48,13	48,17
	102	49,10	48,11	48,25	48,49	100,42	101,25	100,84	48,44	48,41	48,43
	102 ´	49,26	48,18	48,84	48,76	101,34	101,35	101,35	49,10	49,19	49,15
	103	49,30	50,52	50,98	50,27	101,74	102,49	102,12	49,21	49,63	49,42
	103 ´	49,61	48,33	47,61	48,52	100,91	101,94	101,43	49,44	49,48	49,46
#11	111	48,78	48,64	48,28	48,57	100,65	100,82	100,74	49,28	49,11	49,20
	111 ´	49,37	49,16	48,82	49,12	100,37	100,73	100,55	48,15	48,14	48,15
	112	49,34	48,74	48,06	48,71	101,50	101,64	101,57	48,37	48,35	48,36
	112 ´	49,29	49,05	48,86	49,07	101,96	101,73	101,85	49,85	49,76	49,81
	113	48,89	49,72	48,58	49,06	101,24	100,72	100,98	48,56	48,25	48,41
	113 ´	48,95	50,18	50,63	49,92	101,18	101,54	101,36	49,38	49,19	49,29
#12	121	49,03	50,30	50,89	50,07	102,31	101,88	102,10	50,23	49,97	50,10
	121 ´	49,00	48,24	47,58	48,27	101,55	101,94	101,75	47,23	47,62	47,43
	122	49,46	48,55	47,57	48,53	102,03	102,45	102,24	47,28	48,02	47,65
	122 ´	50,11	49,39	51,07	50,19	101,79	102,30	102,05	50,45	50,49	50,47
	123	48,83	50,78	50,91	50,17	101,33	101,86	101,60	49,99	49,87	49,93
	123 ´	49,24	50,61	49,41	49,75	101,25	101,17	101,21	47,99	48,05	48,02
#13	131	50,71	50,80	51,66	51,06	100,58	100,96	100,77	50,75	50,90	50,83
	131 ´	50,40	50,41	49,47	50,09	101,21	99,21	100,21	46,70	47,13	46,92
	132	51,41	50,49	50,93	50,94	101,91	101,88	101,90	49,54	50,06	49,80
	132 ´	50,03	50,10	50,69	50,27	101,93	101,58	101,76	48,44	48,45	48,45
	133	51,22	50,16	50,94	50,77	101,13	101,69	101,41	49,38	48,91	49,15
	133 ´	51,10	49,95	50,61	50,55	101,83	101,37	101,60	48,95	48,61	48,78



P 8: Rozměry zkušebních půlválcových těles – zestárlá

Směs	Těleso	Šířka				Délka			Výška		
		b ₁	b ₂	b ₃	b	l ₁	l ₂	l	h ₁	h ₂	h
		[mm]				šířka	[mm]		délka	[mm]	
#1	14	49,02	48,22	47,86	48,37	101,87	102,23	102,05	47,45	46,56	47,01
	14 ´	48,87	48,44	49,11	48,81	103,17	103,29	103,23	53,04	51,77	52,41
	15	47,25	48,87	48,82	48,31	101,42	100,92	101,17	46,81	47,42	47,12
	15 ´	48,10	48,58	48,80	48,49	101,46	101,35	101,41	45,56	45,57	45,57
	16	48,87	49,03	49,40	49,10	102,18	101,37	101,78	53,18	53,22	53,20
	16 ´	48,82	48,90	48,22	48,65	100,27	100,55	100,41	44,92	44,52	44,72
#2	24	47,97	48,97	48,73	48,56	102,29	102,04	102,17	50,82	51,02	50,92
	24 ´	48,60	48,77	48,90	48,76	101,73	101,22	101,48	46,11	47,36	46,74
	25	48,16	48,60	47,48	48,08	101,66	101,69	101,68	53,20	53,22	53,21
	25 ´	49,27	49,27	49,32	49,29	100,31	100,28	100,30	44,31	44,32	44,32
	26	48,82	48,82	48,51	48,72	101,21	102,12	101,67	50,74	50,61	50,68
	26 ´	48,11	48,11	48,04	48,09	101,60	101,76	101,68	47,16	47,37	47,27
#3	34	50,02	49,12	49,63	49,59	101,61	101,73	101,67	50,56	50,52	50,54
	34 ´	49,06	50,21	50,13	49,80	100,18	100,88	100,53	46,88	46,23	46,56
	35	50,32	49,72	50,60	50,21	100,67	100,85	100,76	46,73	47,69	47,21
	35 ´	50,12	50,18	49,53	49,94	101,45	101,43	101,44	50,71	49,93	50,32
	36	48,82	49,40	48,92	49,05	101,47	101,47	101,47	50,86	50,25	50,56
	36 ´	49,37	49,15	49,32	49,28	101,18	101,52	101,35	47,15	46,96	47,06
#4	44	47,71	48,68	48,01	48,13	100,86	101,41	101,14	47,95	47,50	47,73
	44 ´	47,98	48,83	48,73	48,51	101,41	100,34	100,88	49,47	48,81	49,14
	45	48,84	48,82	48,82	48,83	100,65	101,10	100,88	47,30	46,33	46,82
	45 ´	48,37	48,89	48,23	48,50	101,35	101,25	101,30	50,88	50,63	50,76
	46	49,10	48,36	48,12	48,53	101,43	101,65	101,54	49,13	49,21	49,17
	46 ´	48,82	48,20	48,28	48,43	100,35	100,48	100,42	47,61	47,47	47,54
#5	54	49,13	48,95	49,35	49,14	101,75	101,40	101,58	50,59	50,93	50,76
	54 ´	48,93	49,04	48,34	48,77	102,26	101,87	102,07	48,01	47,88	47,95
	55	49,49	48,09	48,29	48,62	102,22	102,57	102,40	47,70	47,39	47,55
	55 ´	48,28	49,44	49,14	48,95	101,84	101,98	101,91	51,01	51,18	51,10
	56	49,29	48,95	49,30	49,18	101,34	102,08	101,71	48,04	48,45	48,25
	56 ´	49,63	49,14	48,76	49,18	101,98	101,68	101,83	49,83	50,08	49,96
#6	64	49,27	48,83	49,55	49,22	101,32	101,04	101,18	50,60	50,05	50,33
	64 ´	49,31	48,50	48,71	48,84	101,36	101,24	101,30	47,03	47,37	47,20
	65	48,68	48,70	48,50	48,63	100,77	100,92	100,85	46,93	47,53	47,23
	65 ´	48,53	49,34	48,16	48,68	100,47	101,63	101,05	50,10	50,36	50,23
	66	48,01	48,06	47,11	47,73	101,50	101,44	101,47	50,19	49,84	50,02
	66 ´	48,26	48,21	48,23	48,23	100,29	100,81	100,55	47,48	47,49	47,49
#7	74	49,85	49,72	50,04	49,87	101,95	102,09	102,02	48,87	48,14	48,51
	74 ´	50,73	49,84	50,19	50,25	102,18	101,18	101,68	49,24	49,60	49,42
	75	49,96	51,10	49,37	50,14	100,65	101,24	100,95	48,05	48,04	48,05
	75 ´	50,69	51,26	51,47	51,14	101,45	100,93	101,19	49,77	49,56	49,67
	76	50,27	49,60	48,69	49,52	101,11	101,18	101,15	47,97	48,14	48,06
	76 ´	50,06	50,61	51,43	50,70	101,45	101,49	101,47	49,22	49,77	49,50



Směs	Těleso	Šířka				Délka			Výška		
		b ₁	b ₂	b ₃	b	l ₁	l ₂	l	h ₁	h ₂	h
		[mm]				šířka	[mm]		délka	[mm]	
#8	84	50,43	51,32	50,71	50,82	101,80	101,79	101,80	50,19	50,59	50,39
	84 ´	51,42	50,65	51,70	51,26	101,71	101,34	101,53	48,03	47,87	47,95
	85	51,23	49,50	49,54	50,09	100,82	101,31	101,07	48,20	48,11	48,16
	85 ´	49,74	51,16	51,96	50,95	101,42	101,37	101,40	49,38	49,58	49,48
	86	50,56	50,32	49,60	50,16	100,90	100,98	100,94	48,40	48,63	48,52
	86 ´	51,20	51,04	51,33	51,19	101,14	101,32	101,23	48,60	49,51	49,06
#9	94	50,78	49,68	51,00	50,49	101,22	101,14	101,18	48,25	48,62	48,44
	94 ´	50,69	50,76	50,10	50,52	101,36	101,73	101,55	49,34	49,40	49,37
	95	51,47	50,01	50,71	50,73	101,03	100,89	100,96	49,20	48,63	48,92
	95 ´	51,01	51,27	51,75	51,34	100,76	101,09	100,93	48,69	49,10	48,90
	96	48,65	49,88	48,52	49,02	100,92	101,27	101,10	48,55	49,58	49,07
	96 ´	49,91	49,36	50,88	50,05	101,23	101,05	101,14	47,66	49,23	48,45
#10	104	50,60	50,55	52,29	51,15	100,81	100,18	100,50	49,24	48,80	49,02
	104 ´	49,95	49,40	48,75	49,37	101,37	100,96	101,17	48,54	48,31	48,43
	105	50,36	50,45	51,35	50,72	100,96	101,81	101,39	49,99	49,03	49,51
	105 ´	50,05	48,87	48,54	49,15	101,74	100,77	101,26	48,31	49,01	48,66
	106	50,51	49,84	51,40	50,58	101,50	101,34	101,42	49,42	48,69	49,06
	106 ´	49,19	49,74	49,05	49,33	101,15	100,29	100,72	48,10	48,31	48,21
#11	114	50,82	50,19	51,16	50,72	101,65	101,44	101,55	51,11	50,66	50,89
	114 ´	51,51	49,27	50,34	50,37	101,38	101,29	101,34	47,09	47,25	47,17
	115	51,03	48,62	50,24	49,96	101,14	101,33	101,24	47,24	46,92	47,08
	115 ´	51,16	49,00	50,49	50,22	101,65	101,55	101,60	50,64	50,66	50,65
	116	50,34	49,97	49,06	49,79	100,39	100,91	100,65	47,28	47,30	47,29
	116 ´	50,91	49,03	49,64	49,86	101,77	101,38	101,58	50,67	50,70	50,69
#12	124	50,10	51,28	50,22	50,53	101,38	101,20	101,29	50,25	50,66	50,46
	124 ´	51,02	50,14	49,97	50,38	100,93	100,90	100,92	47,19	47,30	47,25
	125	50,55	49,15	50,60	50,10	100,96	101,31	101,14	50,35	50,46	50,41
	125 ´	50,26	49,00	49,25	49,50	100,95	101,12	101,04	47,61	47,44	47,53
	126	50,89	51,64	52,23	51,59	101,47	101,64	101,56	49,70	50,03	49,87
	126 ´	51,63	50,81	50,90	51,11	101,09	101,02	101,06	47,76	47,58	47,67
#13	134	48,06	49,03	48,87	48,65	100,78	100,87	100,83	45,00	45,10	45,05
	134 ´	49,06	48,30	48,58	48,65	101,66	101,52	101,59	51,61	51,23	51,42
	135	48,05	47,71	48,02	47,93	101,62	102,03	101,83	50,11	50,04	50,08
	135 ´	48,02	48,08	48,04	48,05	99,95	100,59	100,27	47,43	47,42	47,43
	136	47,96	48,16	47,25	47,79	99,06	102,16	100,61	49,15	49,19	49,17
	136 ´	48,15	49,26	48,01	48,47	100,95	101,05	101,00	47,25	48,12	47,69



P 9: Výsledky zkoušky stanovení odolnosti proti šíření mrazové trhliny nezestárých těles

Směs	Těleso	Přetvoření				Napětí při porušení $\sigma_{max,i}$ [MPa]	EN 2011		EN 2016	
		ΔW [mm]	Síla F_{max} [kN]	Přetvoření $\epsilon_{max,i}$ [%]	Faktor f $f(a_i/W_i)$ [-]		Kritická hodnota $K_{c,i}$ [N/mm ^{3/2}]	Faktor f $f(a_i/W_i)$ [-]	Kritická hodnota $K_{c,i}$ [N/mm ^{3/2}]	
#1	11	0,38	4,87	0,77%	4,02	7,434	29,9	1,230	27,7	
	11'	0,75	6,11	1,55%	5,04	7,471	37,7	1,229	34,7	
	12	0,60	5,26	1,24%	4,44	7,490	33,2	1,229	30,6	
	12'	0,45	6,00	0,89%	4,99	7,323	36,5	1,231	34,4	
	13	0,43	4,61	0,86%	3,84	7,379	28,3	1,231	26,5	
	13'	0,87	4,63	1,81%	3,81	7,509	28,6	1,229	26,2	
#2	21	0,63	5,18	1,29%	4,30	7,449	32,0	1,230	29,6	
	21'	0,86	5,73	1,77%	4,89	7,474	36,5	1,229	33,7	
	22	0,41	4,77	0,83%	3,91	7,417	29,0	1,230	26,9	
	22'	0,78	5,77	1,62%	4,87	7,504	36,5	1,229	33,5	
	23	0,38	5,10	0,76%	4,29	7,392	31,7	1,231	29,6	
	23'	0,50	3,87	1,05%	3,26	7,521	24,5	1,229	22,4	
#3	31	0,49	5,74	1,00%	4,74	7,422	35,2	1,230	32,7	
	31'	0,60	5,89	1,23%	5,01	7,444	37,3	1,230	34,5	
	32	0,66	5,39	1,35%	4,56	7,446	34,0	1,230	31,5	
	32'	0,65	6,36	1,32%	5,26	7,427	39,0	1,230	36,2	
	33	0,62	6,33	1,22%	5,35	7,318	39,2	1,231	36,9	
	33'	1,13	5,92	2,39%	4,99	7,557	37,7	1,228	34,3	
#4	41	0,68	5,06	1,46%	4,29	7,606	32,6	1,227	29,5	
	41'	0,53	6,44	1,04%	5,34	7,296	38,9	1,231	36,8	
	42	0,65	5,87	1,27%	4,80	7,286	35,0	1,231	33,1	
	42'	1,54	5,23	3,24%	4,35	7,542	32,8	1,228	30,0	
	43	0,90	5,53	1,79%	4,62	7,351	34,0	1,231	31,9	
	43'	0,75	5,69	1,56%	4,64	7,512	34,8	1,229	31,9	



ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb
 Nízkoteplotní asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu

Směs	Těleso	Přetvoření				Napětí při porušení $\sigma_{max,i}$ [MPa]	EN 2011		EN 2016	
		ΔW [mm]	Síla F_{max} [kN]	Přetvoření $\epsilon_{max,i}$ [%]	Faktor f $f(a_i/W_i)$ [-]		Kritická hodnota $K_{c,i}$ [N/mm ^{3/2}]	Faktor f $f(a_i/W_i)$ [-]	Kritická hodnota $K_{c,i}$ [N/mm ^{3/2}]	
#5	51	0,43	6,05	0,85%	4,97	7,345	36,5	1,231	34,3	
	51	0,99	5,94	2,09%	4,91	7,559	37,1	1,228	33,8	
	52	0,46	5,13	0,98%	4,37	7,586	33,1	1,227	30,0	
	52	0,58	6,70	1,14%	5,55	7,323	40,6	1,231	38,3	
	53	0,63	5,85	1,24%	4,85	7,301	35,4	1,231	33,5	
#6	53	0,35	4,02	0,75%	3,46	7,611	26,4	1,226	23,8	
	61	0,62	5,74	1,28%	4,71	7,471	35,2	1,229	32,4	
	61	1,11	5,42	2,25%	4,42	7,422	32,8	1,230	30,5	
	62	1,12	6,10	2,28%	5,05	7,428	37,5	1,230	34,8	
	62	0,66	5,18	1,36%	4,34	7,480	32,5	1,229	29,9	
#7	63	0,54	5,38	1,09%	4,44	7,396	32,9	1,231	30,7	
	63	0,47	4,88	0,97%	4,11	7,486	30,8	1,229	28,3	
	71	0,87	5,08	1,76%	4,22	7,418	31,3	1,230	29,1	
	71	0,56	3,93	1,16%	3,36	7,500	25,2	1,229	23,2	
	72	1,21	3,99	2,53%	3,50	7,518	26,3	1,229	24,1	
#8	72	0,86	4,93	1,73%	4,15	7,397	30,7	1,231	28,7	
	73	0,71	5,37	1,43%	4,52	7,392	33,4	1,231	31,2	
	73	0,76	4,52	1,57%	3,88	7,491	29,0	1,229	26,7	
#8	81	0,66	5,96	1,29%	5,21	7,287	38,0	1,231	36,0	
	81	0,96	6,29	1,99%	5,25	7,497	39,3	1,229	36,1	
	82	0,34	1,70	0,71%	1,49	7,518	11,2	1,229	10,2	
	82	0,59	5,39	1,18%	4,62	7,380	34,1	1,231	31,9	
	83	0,46	5,59	0,94%	4,85	7,438	36,1	1,230	33,5	
	83	0,85	5,08	1,75%	4,37	7,463	32,6	1,230	30,1	



ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb
Nízkoteplotní asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu

Směs	Těleso	Přetvoření		Síla F _{max} [kN]	Přetvoření ε _{max,i} [%]	Napětí při porušení σ _{max,i} [MPa]	EN 2011		EN 2016	
		ΔV [mm]	F _{max} [kN]				Faktor f f(a _i /W _{fj}) [-]	Kritická hodnota K _{c,i} [N/mm ^{3/2}]	Faktor f f(a _i /W _{fj}) [-]	Kritická hodnota K _{c,i} [N/mm ^{3/2}]
#9	91	1,15	4,67	2,39%	4,04	4,26	7,502	30,3	1,229	27,8
	91'	0,44	3,57	0,90%	3,11		1,230	21,4		
	92	0,72	5,65	1,47%	4,78		31,8	1,230	32,9	
	92'	0,65	5,07	1,34%	4,32			1,230	29,8	
	93	0,71	4,99	1,42%	4,27			1,231	29,5	
93'	0,94	5,73	1,96%	5,07	1,229	34,9				
#10	101	0,77	4,95	1,54%	4,17	3,54	7,375	30,7	1,231	28,7
	101'	1,01	4,51	2,10%	3,78		1,229	26,0		
	102	0,61	3,88	1,26%	3,38		26,3	1,229	23,3	
	102'	0,77	2,59	1,57%	2,23			1,230	15,4	
	103	0,48	4,35	0,97%	3,61			1,230	24,9	
103'	0,95	4,72	1,92%	4,09	1,230	28,2				
#11	111	2,06	6,07	4,19%	5,29	4,59	7,426	39,3	1,230	36,5
	111'	0,52	4,81	1,08%	4,15		1,229	28,6		
	112	0,51	5,13	1,05%	4,42		34,2	1,229	30,5	
	112'	0,71	6,07	1,43%	5,18			1,231	35,7	
	113	0,84	4,86	1,74%	4,18			1,229	28,8	
113'	0,65	5,14	1,32%	4,33	1,230	29,9				
#12	121	1,18	7,08	2,36%	5,90	5,33	7,363	43,5	1,231	40,7
	121'	1,08	5,03	2,28%	4,37		1,228	30,0		
	122	0,99	5,71	2,08%	4,91		39,6	1,228	33,8	
	122'	0,78	7,06	1,55%	5,88			1,231	40,6	
	123	1,18	7,16	2,36%	5,99			1,231	41,3	
123'	0,89	5,82	1,85%	4,93	1,229	33,9				
#13	131	0,59	6,13	1,16%	5,08	4,46	7,314	37,1	1,231	35,1
	131'	0,40	3,78	0,85%	3,21		1,227	22,1		
	132	0,49	5,48	0,98%	4,50		33,1	1,231	31,0	
	132'	0,51	4,77	1,05%	3,98			1,229	27,4	
	133	0,51	5,56	1,04%	4,60			1,230	31,7	
133'	0,91	6,47	1,87%	5,37	1,230	37,0				



P 10: Výsledky zkoušky stanovení odolnosti proti šíření mrazové trhliny – zestárlá tělesa

Směs	Těleso	Datalogger		Lis		Porovnání hodnot		Průměr		Přetvoření	ε _{max,i} [%]	Napětí při porušení		Index stárnutí
		Přetvoření [mm]	Síla F _{max} [kN]	Přetvoření [mm]	Síla F _{max} [kN]	Přetvoření [mm]	Síla F _{max} [kN]	Přetvoření [mm]	Síla F _{max} [kN]			σ _{max,i} [MPa]	σ _{max,i} [MPa]	
#1	14	0,94	5,54	1,00	5,44	94%	102%	0,97	5,49	2,06%	1,92%	4,74	4,44	102,0%
	14	1,20	6,37	1,27	6,27	94%	102%	1,24	6,32	2,36%		5,35		
	15	0,43	4,28	0,50	4,26	86%	100%	0,47	4,27	0,99%		3,72		
	15	1,44	5,74	1,48	5,63	97%	102%	1,46	5,69	3,20%		4,93		
	16	0,56	4,94	0,58	4,82	97%	102%	0,57	4,88	1,07%		4,16		
	16	0,80	4,33	0,86	4,28	93%	101%	0,83	4,31	1,86%		3,76		
#2	24	0,48	6,90	0,57	6,73	84%	103%	0,53	6,82	1,03%	1,56%	5,86	5,26	123,7%
	24	0,46	4,63	0,54	4,50	85%	103%	0,50	4,57	1,07%		3,93		
	25	0,90	7,59	1,03	7,40	87%	103%	0,97	7,50	1,81%		6,54		
	25	1,03	5,43	1,12	5,25	92%	103%	1,08	5,34	2,43%		4,61		
	26	0,99	7,08	1,06	6,95	93%	102%	1,03	7,02	2,02%		6,04		
	26	0,44	5,37	0,51	5,13	86%	105%	0,48	5,25	1,00%		4,58		
#3	34	1,71	6,58	1,74	6,52	98%	101%	1,73	6,55	3,41%	2,55%	5,54	5,23	104,9%
	34	1,61	5,29	1,65	5,15	98%	103%	1,63	5,22	3,50%		4,44		
	35	0,53	5,31	0,57	5,15	93%	103%	0,55	5,23	1,17%		4,41		
	35	1,44	6,73	1,52	6,59	95%	102%	1,48	6,66	2,94%		5,60		
	36	1,05	6,52	1,12	6,42	94%	102%	1,09	6,47	2,15%		5,54		
	36	0,98	6,92	1,01	6,76	97%	102%	1,00	6,84	2,11%		5,84		
#4	44	0,46	6,64	0,53	6,56	87%	101%	0,50	6,60	1,04%	1,42%	5,78	5,87	125,6%
	44	0,74	7,33	0,86	7,26	86%	101%	0,80	7,30	1,63%		6,35		
	45	0,41	5,49	0,49	5,37	84%	102%	0,45	5,43	0,96%		4,70		
	45	0,65	7,01	0,78	6,91	83%	101%	0,72	6,96	1,41%		6,04		
	46	0,85	8,31	0,91	8,27	93%	100%	0,88	8,29	1,79%		7,17		
	46	0,78	5,96	0,86	5,86	91%	102%	0,82	5,91	1,72%		5,18		



Směs	Těleso	Datalogger		Lis		Porovnávací hodnot		Průměr		Přetvoření		Napětí při porušení		
		Přetvoření [mm]	Síla Fmax [kN]	Přetvoření ΔW [mm]	Síla Fmax [kN]	Přetvoření ΔW [mm]	Síla Fmax [kN]	Přetvoření ΔW [mm]	Síla Fmax [kN]	Přetvoření εmax,i [%]	σmax,i [MPa]	Index stárnutí	Index stárnutí	
													σmax,i [MPa]	Index stárnutí
#5	54	0,83	7,36	0,93	7,28	89%	101%	0,88	7,32	1,73%	6,25	122,4%	5,73	
	54	0,61	5,16	0,63	5,09	97%	101%	0,62	5,13	1,29%	4,39			
	55	0,73	6,81	0,83	6,75	88%	101%	0,78	6,78	1,64%	5,81			
	55	0,70	7,04	0,76	6,93	92%	102%	0,73	6,99	1,43%	5,97			
	56	0,64	6,23	0,71	6,12	90%	102%	0,68	6,18	1,40%	5,26			
	56	0,77	7,95	0,85	7,82	91%	102%	0,81	7,89	1,62%	6,71			
#6	64	0,46	5,34	0,50	5,28	92%	101%	0,48	5,31	0,95%	4,55	106,9%	4,83	
	64	0,53	5,08	0,62	4,92	85%	103%	0,58	5,00	1,22%	4,31			
	65	0,74	5,11	0,77	4,99	96%	102%	0,76	5,05	1,60%	4,39			
	65	1,05	8,82	1,15	8,61	91%	102%	1,10	8,72	2,19%	7,55			
	66	0,64	5,33	0,71	5,24	90%	102%	0,68	5,29	1,35%	4,65			
	66	0,48	4,02	0,51	3,97	94%	101%	0,50	4,00	1,04%	3,51			
#7	74	0,71	4,19	0,76	4,13	93%	101%	0,74	4,16	1,52%	3,49	106,6%	4,20	
	74	0,78	5,91	0,81	5,83	96%	101%	0,80	5,87	1,61%	4,90			
	75	0,58	5,22	0,67	5,14	87%	102%	0,63	5,18	1,30%	4,36			
	75	1,08	5,75	0,79	5,64	137%	102%	0,94	5,70	1,88%	4,69			
	76	1,18	4,00	1,23	3,91	96%	102%	1,21	3,96	2,51%	3,37			
	76	0,48	5,34	0,64	5,27	75%	101%	0,56	5,31	1,13%	4,40			
#8	84	0,70	6,44	0,72	6,38	97%	101%	0,71	6,41	1,41%	5,28	127,8%	5,49	
	84	0,54	5,82	0,58	5,78	93%	101%	0,56	5,80	1,17%	4,75			
	85	0,52	7,52	0,54	7,40	96%	102%	0,53	7,46	1,10%	6,28			
	85	0,59	7,13	0,61	7,01	97%	102%	0,60	7,07	1,21%	5,83			
	86	0,81	6,19	0,83	6,10	98%	101%	0,82	6,15	1,69%	5,17			
	86	0,76	6,92	0,77	6,79	99%	102%	0,77	6,86	1,56%	5,64			



Směs	Těleso	EN 2011			EN 2016			Energie do max. hodnoty		Celková energie zkoušky			
		Faktor f	Kritická hodnota		Faktor f	Kritická hodnota		[J]	[J]	[J]	[J]		
			f(ai/Wi) [-]	Kic,i [N/mm ^{3/2}]		Index stárnutí	f(ai/Wi) [-]					Kic,i [N/mm ^{3/2}]	Index stárnutí
#1	14	7,581	35,9	33,2	102,7%	1,227	32,6	30,6	101,8%	2,6	2,2	4,5	3,9
	14	7,208	38,5			1,231	36,9			3,8		8,5	
	15	7,573	28,2			1,227	25,6			0,7		1,7	
	15	7,687	37,9			1,224	33,8			3,1		4,3	
	16	7,155	29,8			1,231	28,7			1,5		2,5	
	16	7,752	29,1			1,222	25,7			1,4		1,8	
#2	24	7,307	42,8	39,0	123,1%	1,231	40,4	36,2	123,6%	1,5	1,9	2,2	3,0
	24	7,600	29,9			1,227	27,0			0,9		1,7	
	25	7,155	46,8			1,231	45,1			2,5		4,6	
	25	7,783	35,8			1,221	31,5			2,6		3,9	
	26	7,324	44,2			1,231	41,7			3,1		3,7	
	26	7,562	34,6			1,228	31,5			1,0		1,8	
#3	34	7,333	40,6	39,0	105,2%	1,231	38,2	36,0	104,8%	5,3	3,3	6,9	4,7
	34	7,614	33,8			1,226	30,6			3,9		5,1	
	35	7,566	33,3			1,228	30,3			1,1		2,4	
	35	7,348	41,2			1,231	38,7			3,7		6,0	
	36	7,332	40,6			1,231	38,2			3,2		3,8	
	36	7,577	44,2			1,227	40,2			2,6		4,0	
#4	44	7,529	43,5	43,8	126,3%	1,228	39,8	40,5	125,6%	1,3	2,0	1,8	2,7
	44	7,429	47,2			1,230	43,8			2,5		3,0	
	45	7,595	35,7			1,227	32,3			1,0		1,9	
	45	7,319	44,2			1,231	41,7			1,9		2,5	
	46	7,427	53,3			1,230	49,5			3,5		5,0	
	46	7,542	39,1			1,228	35,7			1,7		2,1	
#5	54	7,318	45,7	42,5	121,9%	1,231	43,1	39,5	122,4%	3,2	2,3	3,8	3,0
	54	7,513	33,0			1,229	30,2			1,3		2,3	
	55	7,542	43,8			1,228	40,0			2,3		3,2	
	55	7,296	43,5			1,231	41,2			2,4		3,3	
	56	7,492	39,4			1,229	36,3			1,9		2,4	
	56	7,373	49,5			1,231	46,3			2,5		3,2	
#6	64	7,348	33,4	35,9	106,9%	1,231	31,4	33,3	106,9%	1,0	1,9	1,8	2,5
	64	7,567	32,6			1,228	29,6			1,2		1,8	
	65	7,565	33,2			1,228	30,2			1,4		1,9	
	65	7,354	55,5			1,231	52,1			5,5		6,8	
	66	7,369	34,3			1,231	32,1			1,6		1,6	
	66	7,546	26,5			1,228	24,2			0,7		1,0	
#7	74	7,474	26,1	31,3	106,6%	1,229	24,0	29,0	106,6%	1,6	1,7	2,9	2,8
	74	7,410	36,3			1,230	33,8			1,7		3,2	
	75	7,506	32,7			1,229	30,0			1,7		2,2	
	75	7,393	34,7			1,231	32,4			2,2		3,9	
	76	7,506	25,3			1,229	23,2			1,6		2,7	
	76	7,405	32,6			1,230	30,3			1,5		1,9	
#8	84	7,343	38,8	40,9	128,2%	1,231	36,4	37,9	127,7%	2,0	1,9	2,5	2,8
	84	7,513	35,7			1,229	32,7			1,7		3,9	
	85	7,498	47,1			1,229	43,3			1,7		2,1	
	85	7,406	43,2			1,230	40,2			1,7		2,1	
	86	7,473	38,7			1,229	35,7			2,3		3,6	
	86	7,435	41,9			1,230	38,9			1,9		2,4	



Směs	Těleso	r [m]	a [m]	t [m]	Alig [m ²]		Lomová energie do max. hodnoty		Lomová energie	
							Gf max		Gf	
							[kJ/m ²]		[kJ/m ²]	
#1	14	0,0470	0,0100	48,3667	1,7898	1,865	1,2	1,45	2,0	2,49
	14´	0,0524	0,0100	48,8067	2,0696			1,81		4,10
	15	0,0471	0,0100	48,3133	1,7931			0,40		0,94
	15´	0,0456	0,0100	48,4933	1,7247			1,77		2,49
	16	0,0532	0,0100	49,1000	2,1211			0,72		1,20
	16´	0,0447	0,0100	48,6467	1,6890			0,81		1,06
#2	24	0,0509	0,0100	48,5567	1,9869	1,887	1,0	0,77	1,6	1,10
	24´	0,0467	0,0100	48,7567	1,7911			0,53		0,93
	25	0,0532	0,0100	48,0800	2,0775			1,19		2,19
	25´	0,0443	0,0100	49,2867	1,6913			1,51		2,29
	26	0,0507	0,0100	48,7167	1,9816			1,59		1,86
	26´	0,0473	0,0100	48,0867	1,7919			0,54		0,99
#3	34	0,0505	0,0100	49,5900	2,0104	1,921	1,7	2,61	2,4	3,44
	34´	0,0466	0,0100	49,8000	1,8204			2,13		2,80
	35	0,0472	0,0100	50,2133	1,8684			0,58		1,29
	35´	0,0503	0,0100	49,9433	2,0137			1,86		2,97
	36	0,0506	0,0100	49,0467	1,9891			1,59		1,92
	36´	0,0471	0,0100	49,2800	1,8261			1,42		2,18
#4	44	0,0477	0,0100	48,1333	1,8158	1,868	1,1	0,71	1,5	1,01
	44´	0,0491	0,0100	48,5133	1,8988			1,33		1,60
	45	0,0468	0,0100	48,8267	1,7976			0,55		1,06
	45´	0,0508	0,0100	48,4967	1,9765			0,99		1,27
	46	0,0492	0,0100	48,5267	1,9008			1,84		2,61
	46´	0,0475	0,0100	48,4333	1,8182			0,96		1,16
#5	54	0,0508	0,0100	49,1433	2,0031	1,923	1,2	1,61	1,6	1,91
	54´	0,0479	0,0100	48,7700	1,8506			0,72		1,25
	55	0,0475	0,0100	48,6233	1,8256			1,27		1,78
	55´	0,0511	0,0100	48,9533	2,0117			1,19		1,62
	56	0,0482	0,0100	49,1800	1,8809			1,02		1,26
	56´	0,0500	0,0100	49,1767	1,9649			1,29		1,61
#6	64	0,0503	0,0100	49,2167	1,9847	1,881	1,0	0,51	1,3	0,92
	64´	0,0472	0,0100	48,8400	1,8168			0,67		1,00
	65	0,0472	0,0100	48,6267	1,8104			0,78		1,05
	65´	0,0502	0,0100	48,6767	1,9583			2,79		3,49
	66	0,0500	0,0100	47,7267	1,9098			0,85		0,85
	66´	0,0475	0,0100	48,2333	1,8080			0,41		0,55
#7	74	0,0485	0,0100	49,8700	1,9202	1,954	0,9	0,85	1,4	1,50
	74´	0,0494	0,0100	50,2533	1,9810			0,84		1,62
	75	0,0480	0,0100	50,1433	1,9077			0,90		1,14
	75´	0,0497	0,0100	51,1400	2,0285			1,10		1,92
	76	0,0481	0,0100	49,5200	1,8845			0,86		1,43
	76´	0,0495	0,0100	50,7000	2,0024			0,74		0,93
#8	84	0,0504	0,0100	50,8200	2,0526	1,975	1,0	0,96	1,4	1,24
	84´	0,0480	0,0100	51,2567	1,9452			0,87		2,01
	85	0,0482	0,0100	50,0900	1,9112			0,90		1,11
	85´	0,0495	0,0100	50,9533	2,0116			0,87		1,02
	86	0,0485	0,0100	50,1600	1,9319			1,18		1,88
	86´	0,0491	0,0100	51,1900	1,9992			0,95		1,21



Směs	Těleso	Datalogger				Lis				Porovnání hodnot				Průměr				Přetvoření				Napětí při porušení			
		Přetvoření		Síla	Přetvoření		Síla	Přetvoření		Síla	Přetvoření		Síla	Přetvoření		Síla	Přetvoření		ε _{max,j}	σ _{max,j}	Index stárnutí				
		ΔW [mm]	F _{max} [kN]	ΔW [mm]	F _{max} [kN]	ΔW [mm]	F _{max} [kN]	ΔW [mm]	F _{max} [kN]	ΔW [mm]	F _{max} [kN]	ΔW [mm]	F _{max} [kN]	ΔW [mm]	F _{max} [kN]	ΔW [mm]	F _{max} [kN]	ΔW [mm]	F _{max} [kN]	ε _{max,j} [%]	σ _{max,j} [MPa]	Index stárnutí			
#9	94	0,40	4,78	0,45	4,72	89%	101%	0,43	4,75	0,88%	3,96	1,68%	4,84	113,4%											
	94	0,79	6,26	0,82	6,18	96%	101%	0,81	6,22	1,63%	5,17														
	95	0,49	5,18	0,56	5,12	88%	101%	0,53	5,15	1,07%	4,29														
	95	1,44	6,55	1,45	6,50	99%	101%	1,45	6,53	2,96%	5,37														
	96	1,03	6,56	1,08	6,48	95%	101%	1,06	6,52	2,15%	5,61														
	96	0,67	5,54	0,70	5,44	96%	102%	0,69	5,49	1,41%	4,62														
#10	104	0,55	5,76	0,58	5,72	95%	101%	0,57	5,74	1,15%	4,76	1,97%	4,56	128,6%											
	104	0,62	4,99	0,63	4,91	98%	102%	0,63	4,95	1,29%	4,23														
	105	0,81	5,77	0,85	5,69	95%	101%	0,83	5,73	1,68%	4,75														
	105	2,01	5,78	2,04	5,70	99%	101%	2,03	5,74	4,16%	4,92														
	106	0,78	5,32	0,77	5,19	101%	103%	0,78	5,26	1,58%	4,37														
	106	0,90	5,09	0,96	4,97	94%	102%	0,93	5,03	1,93%	4,32														
#11	114	0,56	5,48	0,61	5,39	92%	102%	0,59	5,44	1,15%	4,50	1,15%	4,40	95,8%											
	114	0,42	4,13	0,51	4,04	82%	102%	0,47	4,09	0,99%	3,41														
	115	0,54	4,82	0,68	4,70	79%	103%	0,61	4,76	1,30%	4,01														
	115	0,59	6,95	0,67	6,85	88%	101%	0,63	6,90	1,24%	5,77														
	116	0,64	4,07	0,60	3,99	107%	102%	0,62	4,03	1,31%	3,43														
	116	0,42	6,34	0,48	6,23	88%	102%	0,45	6,29	0,89%	5,29														
#12	124	1,78	6,69	1,74	6,54	102%	102%	1,76	6,62	3,49%	5,51	1,98%	4,96	93,0%											
	124	0,80	5,26	0,81	5,12	99%	103%	0,81	5,19	1,70%	4,35														
	125	0,82	5,94	0,80	5,74	103%	103%	0,81	5,84	1,61%	4,91														
	125	1,09	6,15	1,11	6,00	98%	103%	1,10	6,08	2,31%	5,18														
	126	0,70	5,83	0,73	5,68	96%	103%	0,72	5,76	1,43%	4,68														
	126	0,63	6,23	0,66	6,12	95%	102%	0,65	6,18	1,35%	5,10														
#13	134	0,52	5,07	0,62	4,99	84%	102%	0,57	5,03	1,27%	4,37	1,66%	4,67	104,9%											
	134	1,00	5,90	1,10	5,76	91%	102%	1,05	5,83	2,04%	5,03														
	135	0,62	6,06	0,71	5,91	87%	103%	0,67	5,99	1,33%	5,23														
	135	1,16	5,75	1,25	5,60	93%	103%	1,21	5,68	2,54%	5,02														
	136	0,84	5,17	0,90	5,05	93%	102%	0,87	5,11	1,77%	4,53														
	136	0,39	4,32	0,56	4,55	70%	95%	0,48	4,44	1,00%	3,86														



ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb

Nízkoteplotní asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu

Směs	Těleso	EN 2011			EN 2016			Energie do max. hodnoty		Celková energie zkoušky			
		Faktor f	Kritická hodnota		Faktor f	Kritická hodnota		[J]	[J]				
			f(ai/Wi)	Kic,i		Index stárnutí	f(ai/Wi)			Kic,i	Index stárnutí		
		[-]	[N/mm ^{3/2}]		[-]	[N/mm ^{3/2}]							
#9	94	7,479	29,6	36,0	113,3%	1,229	27,3	33,3	113,4%	0,9	2,0	1,3	2,9
	94´	7,413	38,3			1,230	35,6			2,3		3,1	
	95	7,445	31,9			1,230	29,5			1,2		2,2	
	95´	7,446	40,0			1,230	37,0			2,7		4,1	
	96	7,435	41,7			1,230	38,7			3,2		4,0	
	96´	7,478	34,6			1,229	31,9			1,7		2,5	
#10	104	7,438	35,4	33,9	128,9%	1,230	32,8	31,4	128,5%	1,4	2,0	1,8	2,9
	104´	7,479	31,6			1,229	29,1			1,5		2,2	
	105	7,404	35,2			1,230	32,8			2,0		3,1	
	105´	7,463	36,7			1,230	33,9			3,8		4,9	
	106	7,435	32,5			1,230	30,1			2,1		2,9	
	106´	7,495	32,3			1,229	29,7			1,6		2,8	
#11	114	7,310	32,9	32,7	95,5%	1,231	31,0	30,3	95,8%	1,3	1,2	2,2	2,2
	114´	7,569	25,8			1,227	23,5			0,8		1,8	
	115	7,575	30,4			1,227	27,6			1,4		1,7	
	115´	7,326	42,2			1,231	39,8			1,8		2,5	
	116	7,560	25,9			1,228	23,6			0,9		2,4	
	116´	7,323	38,7			1,231	36,5			1,2		2,7	
#12	124	7,339	40,4	36,9	93,2%	1,231	38,0	34,1	93,0%	3,9	2,1	5,0	2,9
	124´	7,563	32,9			1,228	29,9			1,4		1,7	
	125	7,342	36,1			1,231	33,9			2,3		2,7	
	125´	7,543	39,1			1,228	35,6			1,5		2,8	
	126	7,379	34,6			1,231	32,3			1,8		2,4	
	126´	7,533	38,4			1,228	35,1			1,8		3,0	
#13	134	7,726	33,8	34,9	105,4%	1,223	30,0	32,2	104,8%	1,0	1,7	1,5	2,2
	134´	7,274	36,6			1,231	34,7			2,2		2,8	
	135	7,365	38,5			1,231	36,1			1,6		2,2	
	135´	7,551	37,9			1,228	34,6			3,1		3,1	
	136	7,427	33,7			1,230	31,2			1,5		2,0	
	136´	7,532	29,1			1,228	26,6			0,8		1,4	



Směs	Těleso	r [m]	a [m]	t [m]	Alig [m ²]		Lomová energie do max. hodnoty		Lomová energie	
							Gf max		Gf	
							[kJ/m ²]		[kJ/m ²]	
#9	94	0,0484	0,0100	50,4867	1,9405	1,957	0,47	1,0	0,67	1,5
	94 ´	0,0494	0,0100	50,5167	1,9888		1,17		1,55	
	95	0,0489	0,0100	50,7300	1,9742		0,59		1,14	
	95 ´	0,0489	0,0100	51,3433	1,9970		1,34		2,03	
	96	0,0491	0,0100	49,0167	1,9148		1,68		2,09	
	96 ´	0,0484	0,0100	50,0500	1,9242		0,91		1,29	
#10	104	0,0490	0,0100	51,1467	1,9957	1,943	0,68	1,1	0,90	1,5
	104 ´	0,0484	0,0100	49,3667	1,8969		0,77		1,17	
	105	0,0495	0,0100	50,7200	2,0039		0,99		1,53	
	105 ´	0,0487	0,0100	49,1533	1,9003		1,99		2,59	
	106	0,0491	0,0100	50,5833	1,9755		1,05		1,45	
	106 ´	0,0482	0,0100	49,3267	1,8845		0,86		1,47	
#11	114	0,0509	0,0100	50,7233	2,0738	1,954	0,62	0,6	1,08	1,1
	114 ´	0,0472	0,0100	50,3733	1,8724		0,41		0,98	
	115	0,0471	0,0100	49,9633	1,8526		0,76		0,92	
	115 ´	0,0507	0,0100	50,2167	2,0413		0,86		1,23	
	116	0,0473	0,0100	49,7900	1,8567		0,47		1,28	
	116 ´	0,0507	0,0100	49,8600	2,0286		0,60		1,35	
#12	124	0,0505	0,0100	50,5333	2,0443	1,964	1,89	1,1	2,43	1,5
	124 ´	0,0472	0,0100	50,3767	1,8763		0,76		0,91	
	125	0,0504	0,0100	50,1000	2,0243		1,11		1,31	
	125 ´	0,0475	0,0100	49,5033	1,8576		0,83		1,49	
	126	0,0499	0,0100	51,5867	2,0565		0,88		1,16	
	126 ´	0,0477	0,0100	51,1133	1,9254		0,96		1,57	
#13	134	0,0451	0,0100	48,6533	1,7053	1,856	0,57	0,9	0,87	1,2
	134 ´	0,0514	0,0100	48,6467	2,0149		1,09		1,40	
	135	0,0501	0,0100	47,9267	1,9207		0,84		1,16	
	135 ´	0,0474	0,0100	48,0467	1,7981		1,71		1,71	
	136	0,0492	0,0100	47,7900	1,8719		0,82		1,05	
	136 ´	0,0477	0,0100	48,4733	1,8267		0,43		0,79	



P 11: Rozměry a objemové hmotnosti zkušebních desek, včetně míry zhutnění

Směs	Těleso	Výška										Hmotnost			Teplota T [°C]	Hustota vody ρ _v [kg.m ⁻³]		Objemová hmotnost		Míra zhutnění [%]
		h										m _s [g]	m _m [g]	m _v [g]		ρ _v [g.cm ⁻³]	ρ _{vz} [g.cm ⁻³]	ρ _{vz} [g.cm ⁻³]		
# 1	1	49,69	49,53	51,38	50,11	50,46	50,65	50,3	50,3	9751,0	5749,9	9884,9	15,0	999,2	2,356	2,377	100,4%			
	2	49,93	49,94	50,88	50,35	49,98	50,84	50,3	50,3	9744,8	5762,8	9823,5	15,0	999,2	2,398	2,398	102,2%			
# 2	1	49,75	49,76	50,96	50,28	50,01	51,13	50,3	50,2	9959,1	5908,4	10036,0	23,0	997,6	2,407	2,423	101,3%			
	2	50,21	49,81	50,06	49,90	50,33	50,63	50,2	50,6	9950,8	5947,4	10017,3	23,0	997,6	2,439	2,458	101,9%			
# 3	1	49,81	51,75	50,03	50,42	51,55	49,66	50,5	50,6	10063,3	6079,7	10166,0	22,5	997,7	2,457	2,460	101,6%			
	2	49,52	52,45	50,01	50,52	51,67	49,95	50,7	50,6	10035,1	6064,3	10134,8	22,5	997,7	2,460	2,460	101,7%			
# 4	1	49,75	50,45	52,66	51,32	50,56	50,08	50,8	50,4	10197,7	6111,1	10289,4	23,0	997,6	2,435	2,458	99,3%			
	2	49,30	50,09	51,07	50,10	49,87	50,74	50,2	50,4	10196,1	6126,4	10279,4	23,0	997,6	2,449	2,458	99,9%			
	3	49,65	49,91	50,78	50,02	50,09	50,19	50,1	50,1	10211,1	6170,2	10269,8	15,0	999,2	2,489	2,489	101,5%			
# 5	1	50,44	50,41	49,54	49,64	50,31	50,69	50,2	50,3	10067,4	6079,0	10130,1	18,0	998,7	2,482	2,465	102,6%			
	2	49,98	50,14	50,16	50,34	49,80	49,66	50,0	50,3	10055,1	6068,3	10118,2	18,0	998,7	2,480	2,465	102,5%			
	3	50,21	50,55	51,24	51,20	50,14	50,85	50,7	50,7	10059,6	6038,5	10164,2	21,5	998,0	2,433	2,433	100,6%			
# 6	1	49,52	49,37	49,73	50,46	49,93	50,13	49,9	49,9	9670,7	5686,0	9731,3	21,8	997,9	2,386	2,377	102,5%			
	2	49,98	49,90	49,93	50,02	50,12	50,05	50,0	50,0	9679,2	5682,0	9761,7	21,8	997,9	2,368	2,377	101,7%			
# 7	1	49,86	49,77	51,58	50,28	50,01	51,66	50,5	50,6	9796,3	5822,0	9922,2	21,5	998,0	2,384	2,377	101,5%			
	2	50,34	50,09	51,83	50,23	49,79	51,35	50,6	50,6	9789,7	5792,6	9914,2	21,5	998,0	2,370	2,377	101,0%			
# 8	1	50,11	49,32	50,57	50,36	50,32	51,00	50,3	50,2	10070,1	6053,1	10134,4	19,5	998,4	2,463	2,450	101,3%			
	2	50,09	49,39	51,17	49,80	49,95	50,56	50,2	50,2	10062,0	6004,9	10128,3	19,5	998,4	2,436	2,450	100,2%			
# 9	1	51,68	50,37	50,32	50,04	51,03	52,12	50,9	50,7	9970,8	5967,4	10066,1	21,5	998,0	2,428	2,418	101,3%			
	2	50,27	49,57	50,85	49,89	50,32	51,91	50,5	50,7	9975,9	5946,5	10081,1	21,5	998,0	2,408	2,418	100,4%			
# 10	1	50,00	49,65	52,18	51,59	49,16	59,89	52,1	51,0	9840,8	5907,2	9954,7	19,5	998,4	2,427	2,419	101,8%			
	2	50,09	50,47	52,16	49,88	49,80	49,58	50,3	51,0	9893,4	5919,5	9991,8	19,5	998,4	2,426	2,419	101,7%			
	3	51,02	50,43	50,51	50,50	50,27	51,14	50,6	50,6	9912,1	5942,8	10056,0	21,5	998,0	2,405	2,419	100,9%			
# 11	1	50,17	49,32	51,84	50,77	49,49	49,78	50,2	50,0	10070,3	6029,1	10179,8	21,5	998,0	2,421	2,431	100,0%			
	2	49,23	49,34	50,79	50,65	49,24	49,72	49,8	50,0	10032,5	6003,0	10110,0	15,0	999,2	2,441	2,431	100,8%			
	3	50,11	49,10	50,58	49,73	49,94	51,00	50,1	50,1	10018,8	6028,0	10101,8	15,0	999,2	2,457	2,431	101,5%			
# 12	1	49,63	49,78	50,97	49,45	49,41	50,35	49,9	50,0	9961,0	5929,5	10035,3	16,0	999,0	2,424	2,422	101,4%			
	2	49,74	49,68	51,17	49,71	49,37	50,51	50,0	50,0	9951,4	5917,7	10023,5	16,0	999,0	2,421	2,422	101,3%			
# 13	1	49,32	50,20	50,95	51,23	49,50	49,37	50,1	49,9	9789,4	5840,5	9920,8	21,5	998,0	2,394	2,406	101,8%			
	2	48,85	49,46	50,64	49,59	49,52	49,96	49,7	49,9	9780,1	5834,7	9871,5	21,5	998,0	2,418	2,406	102,8%			



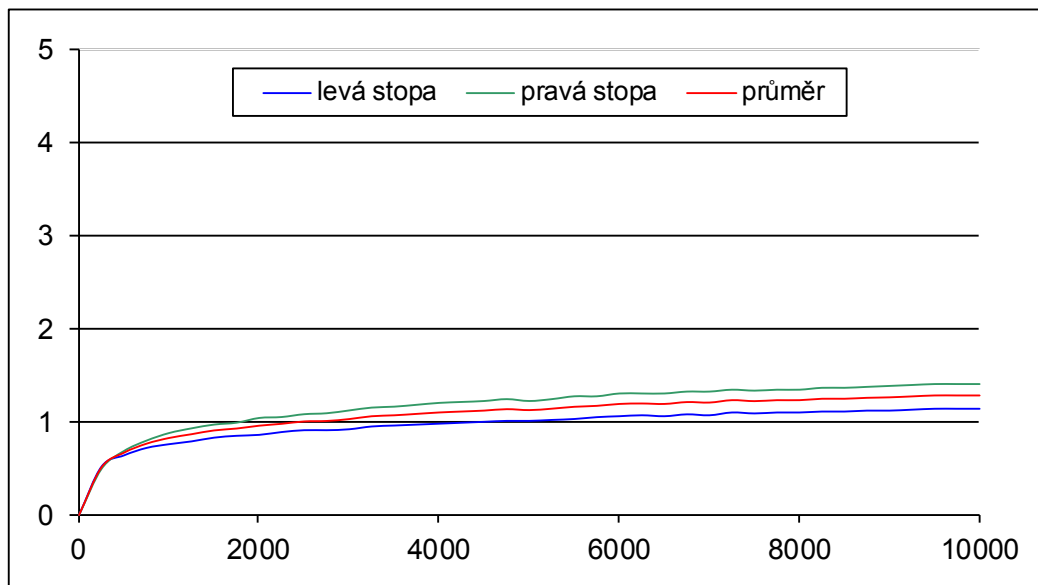
P 12: Výsledky zkoušky stanovení odolnosti vůči trvalým deformacím

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - varianta #1

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:	CESTI	druh směsi	ACL 16+ s 0 % R-materiálu
výrobce	Froněk spol. s r.o.	druh pojiva	70/100 (foam)
číslo objednávky:		MZ vzorku č. 1	100,4 %
datum výroby vzorku	23.10.16	MZ vzorku č. 2	102,2 %
datum zkoušky	29.05.17	tloušťka desky 1	50,30 mm
teplota přípravy těles	130 °C	tloušťka desky 2	50,30 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	50,30 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,01	1,14	0,13
2	1,21	1,39	0,18
průměr	1,11	1,27	0,16
přírůstek hloubky koleje WTS _{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,031 mm
	PRD_{AIR}		2,2 %

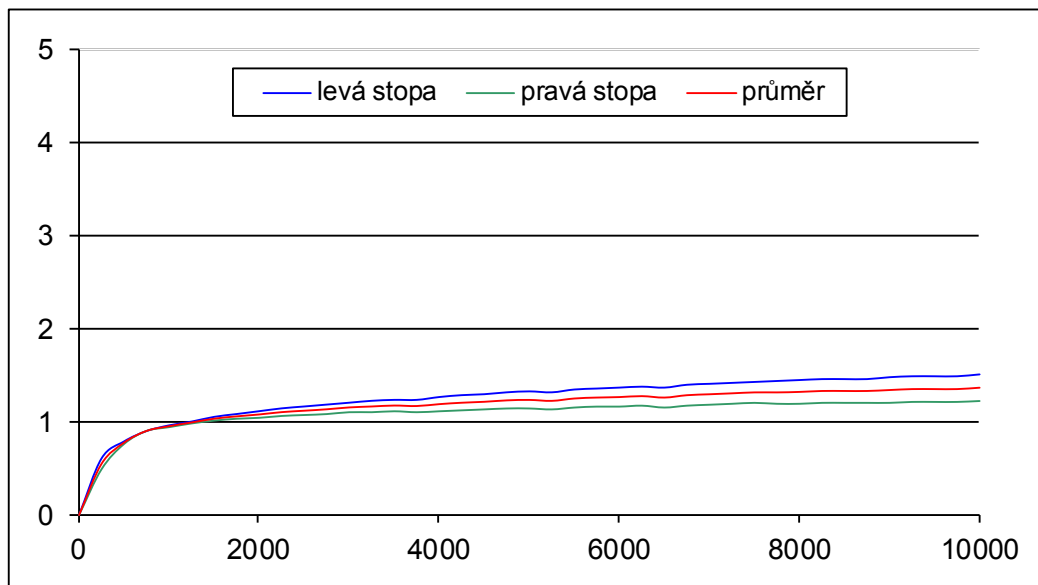


Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - varianta #2

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:	CESTI	druh směsi	ACL 16+ s 40 % R-materiálu
výrobce	Froněk spol. s r.o.	druh pojiva	70/100 (foam)
číslo objednávky:		MZ vzorku č. 1	100,6 %
datum výroby vzorku	23.10.16	MZ vzorku č. 2	101,9 %
datum zkoušky	07.06.17	tloušťka desky 1	50,30 mm
teplota přípravy těles	130 °C	tloušťka desky 2	50,20 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	50,25 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,31	1,49	0,18
2	1,14	1,22	0,08
průměr	1,23	1,36	0,13
přírůstek hloubky koleje WTS _{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,026 mm
PRD_{AIR}			2,4 %

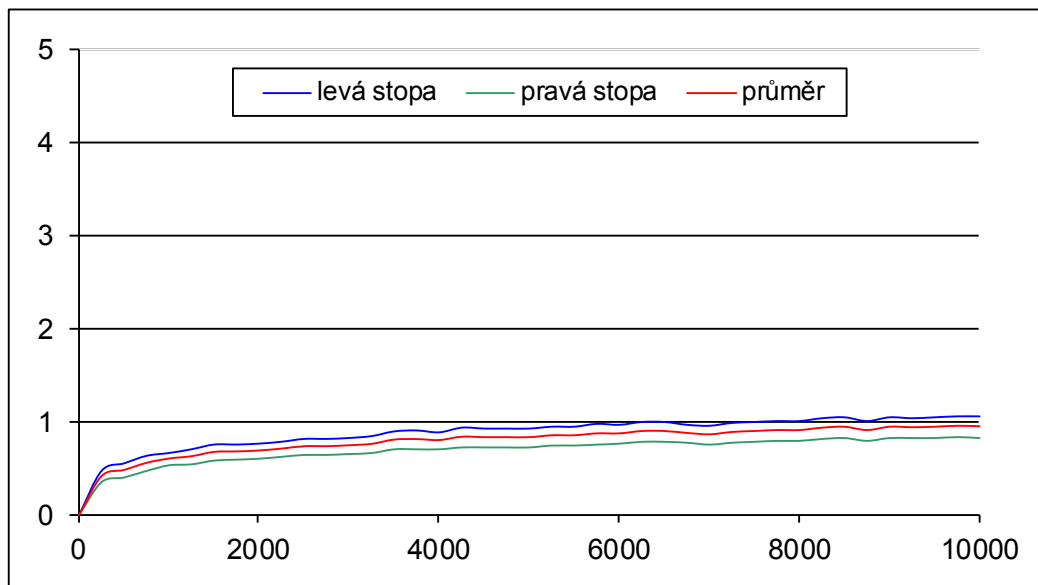


Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - varianta #3

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:	CESTI	druh směsi	ACL 16+ s 60 % R-materiálu
výrobce	Froněk spol. s r.o.	druh pojiva	70/100 (foam)
číslo objednávky:		MZ vzorku č. 1	101,6 %
datum výroby vzorku	23.10.16	MZ vzorku č. 2	101,7 %
datum zkoušky	25.05.17	tloušťka desky 1	50,50 mm
teplota přípravy těles	130 °C	tloušťka desky 2	50,70 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	50,60 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	0,92	1,05	0,13
2	0,72	0,82	0,10
průměr	0,82	0,94	0,12
přírůstek hloubky koleje WTS _{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,023 mm
PRD_{AIR}			1,6 %

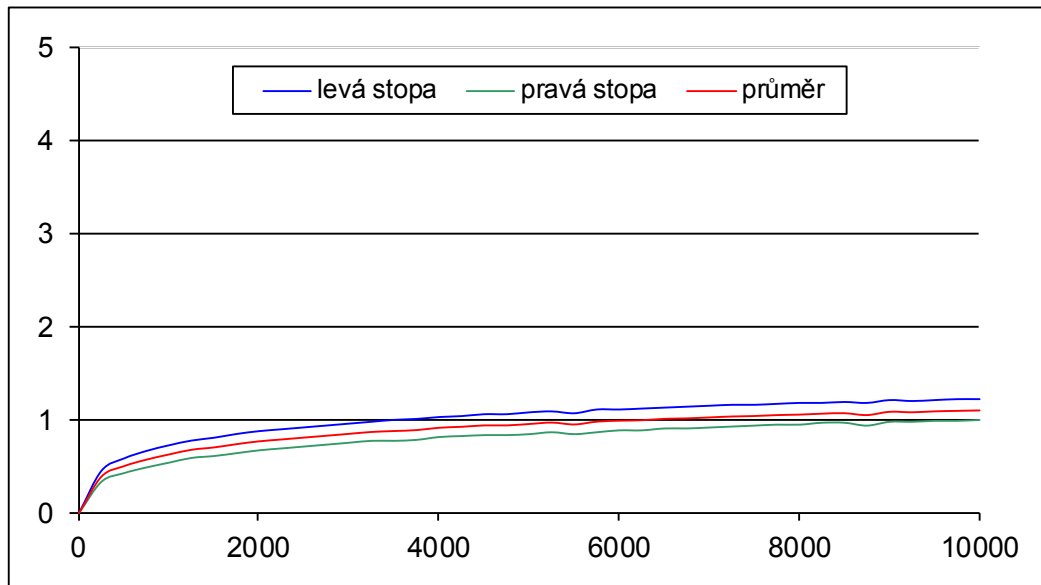


Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - varianta #4

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:	CESTI	druh směsi	ACL 16+ s 60 % R-materiálu
výrobce	Froněk spol. s r.o.	druh pojiva	50/70 + Sasobit (Redux) - in mix
číslo objednávky:		MZ vzorku č. 1	99,9 %
datum výroby vzorku	23.10.16	MZ vzorku č. 2	101,5 %
datum zkoušky	16.05.17	tloušťka desky 1	50,20 mm
teplota přípravy těles	130 °C	tloušťka desky 2	50,10 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	50,15 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,07	1,21	0,14
2	0,83	0,98	0,15
průměr	0,95	1,10	0,15
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,029 mm
PRD_{AIR}			1,9 %

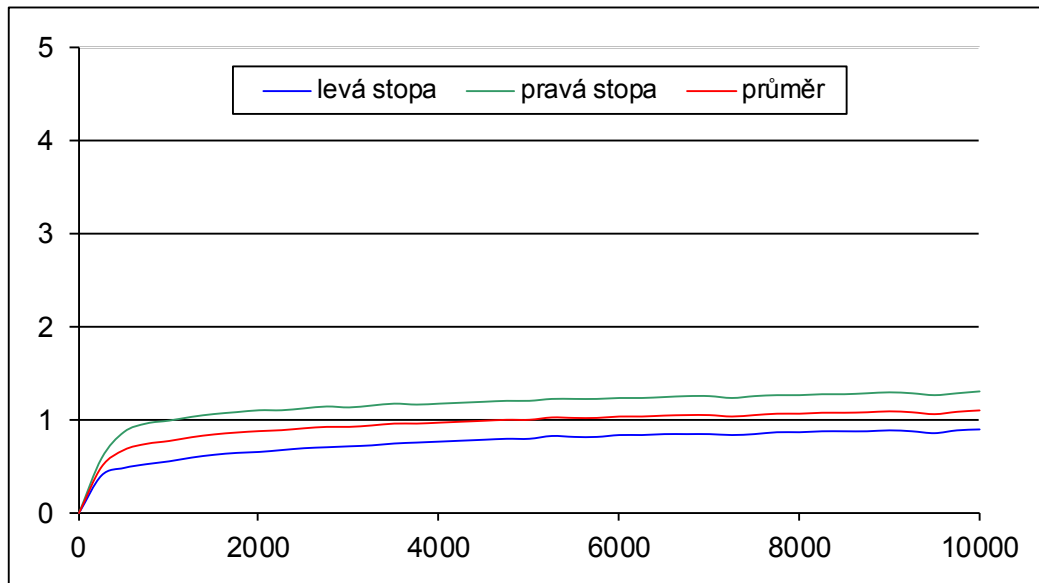


Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - varianta #5

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:	CESTI	druh směsi	ACL 16+ s 60 % R-materiálu
výrobce	Froněk spol. s r.o.	druh pojiva	50/70 + Sasobit
číslo objednávky:		MZ vzorku č. 1	102,5 %
datum výroby vzorku	23.10.16	MZ vzorku č. 2	100,6 %
datum zkoušky	23.05.17	tloušťka desky 1	50,00 mm
teplota přípravy těles	130 °C	tloušťka desky 2	50,70 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	50,35 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	0,79	0,89	0,10
2	1,19	1,29	0,10
průměr	0,99	1,09	0,10
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,02 mm
PRD_{AIR}			2,0 %

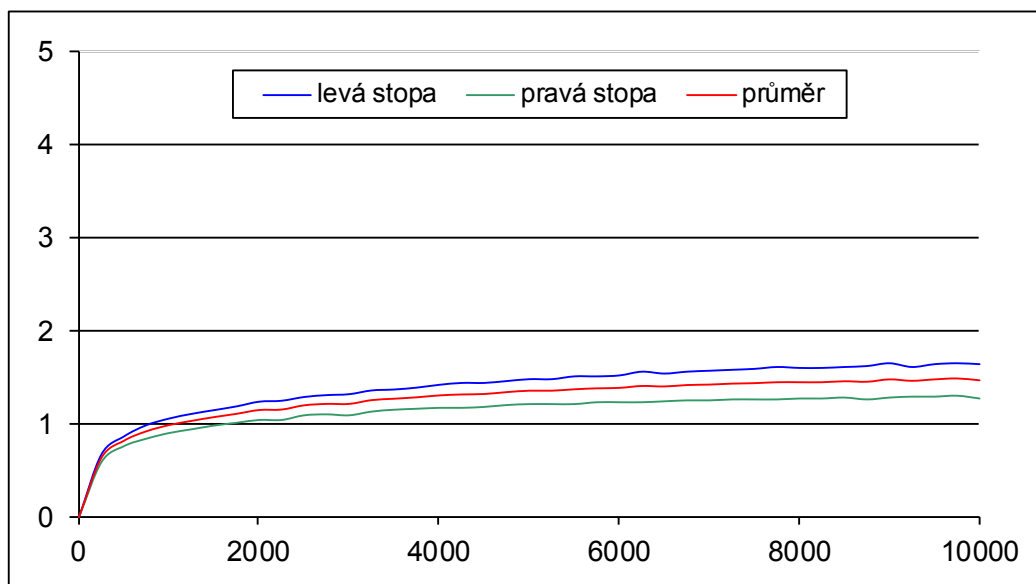


Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - varianta #6

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:	CESTI	druh směsi	ACL 16+ s 60 % R-materiálu
výrobce	Froněk spol. s r.o.	druh pojiva	50/70 + Storbit
číslo objednávky:		MZ vzorku č. 1	102,5 %
datum výroby vzorku	23.10.16	MZ vzorku č. 2	101,7 %
datum zkoušky	26.05.17	tloušťka desky 1	49,90 mm
teplota přípravy těles	130 °C	tloušťka desky 2	50,00 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	49,95 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,47	1,63	0,16
2	1,21	1,27	0,06
průměr	1,34	1,45	0,11
přírůstek hloubky koleje WTS _{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,022 mm
	PRD_{AIR}		2,7 %

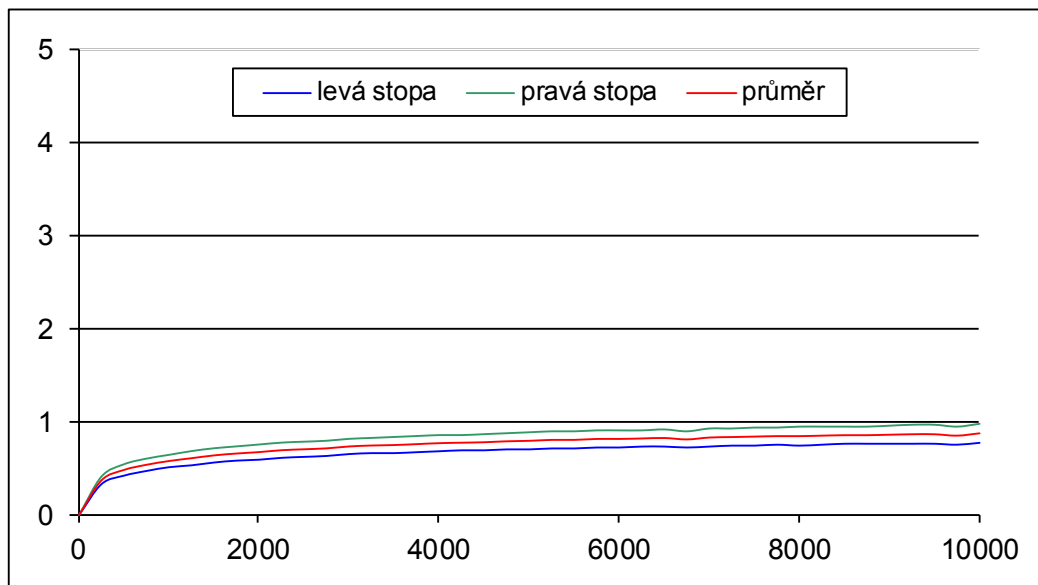


Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - varianta #7

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:	CESTI	druh směsi	ACL 16+ s 60 % R-materiálu
výrobce	Froněk spol. s r.o.	druh pojiva	50/70 + Storelastic
číslo objednávky:		MZ vzorku č. 1	101,5 %
datum výroby vzorku	24.10.16	MZ vzorku č. 2	101,0 %
datum zkoušky	26.04.17	tloušťka desky 1	50,50 mm
teplota přípravy těles	130 °C	tloušťka desky 2	50,60 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	50,55 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	0,70	0,77	0,07
2	0,88	0,97	0,09
průměr	0,79	0,87	0,08
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,016 mm
PRD_{AIR}			1,6 %

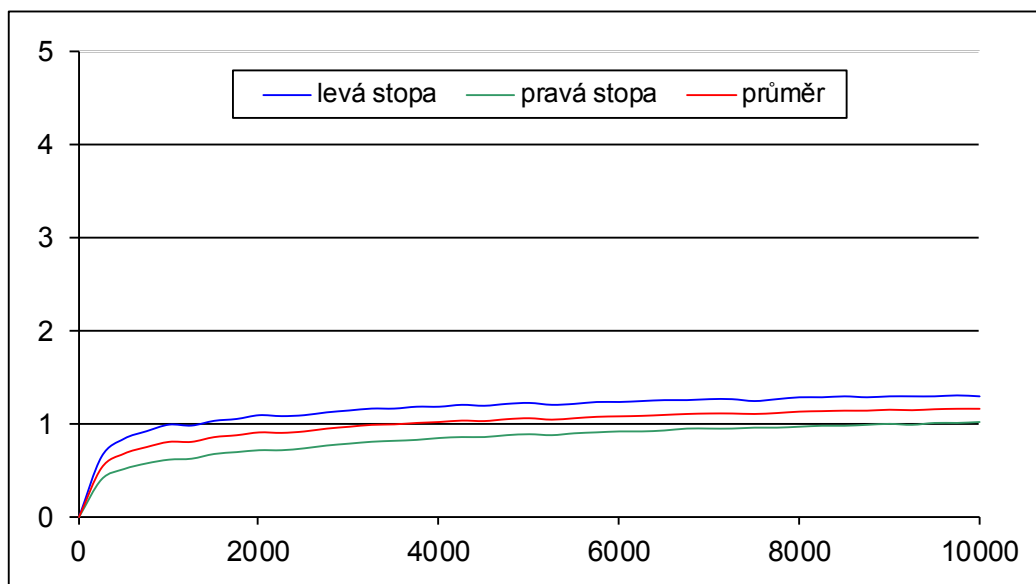


Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - varianta #8

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:	CESTI	druh směsi	ACL 16+ s 60 % R-materiálu
výrobce	Froněk spol. s r.o.	druh pojiva	70/100 + Inodur
číslo objednávky:		MZ vzorku č. 1	101,3 %
datum výroby vzorku	24.10.16	MZ vzorku č. 2	100,4 %
datum zkoušky	10.05.17	tloušťka desky 1	50,30 mm
teplota přípravy těles	130 °C	tloušťka desky 2	50,20 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	50,25 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,21	1,28	0,07
2	0,88	1,01	0,13
průměr	1,05	1,15	0,10
přírůstek hloubky koleje WTS _{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,02 mm
PRD_{AIR}			2,1 %

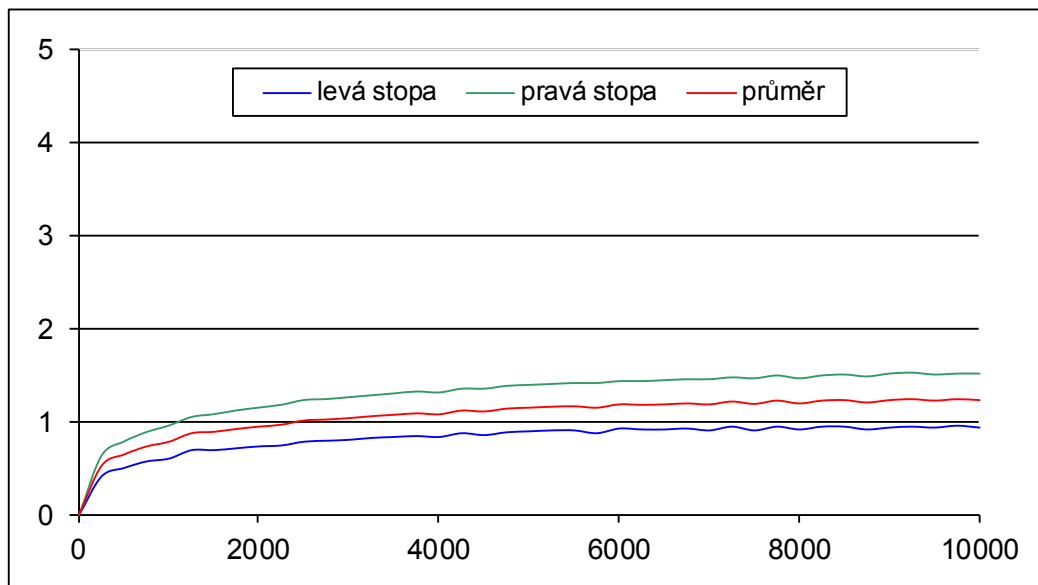


Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - varianta #9

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:	CESTI	druh směsi	ACL 16+ s 60 % R-materiálu
výrobce	Froněk spol. s r.o.	druh pojiva	50/70 + Prephalt
číslo objednávky:		MZ vzorku č. 1	101,3 %
datum výroby vzorku	24.10.16	MZ vzorku č. 2	100,2 %
datum zkoušky	27.04.17	tloušťka desky 1	50,90 mm
teplota přípravy těles	130 °C	tloušťka desky 2	50,50 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	50,70 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	0,89	0,93	0,04
2	1,38	1,50	0,12
průměr	1,14	1,22	0,08
přírůstek hloubky koleje WTS _{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,016 mm
PRD_{AIR}			2,2 %

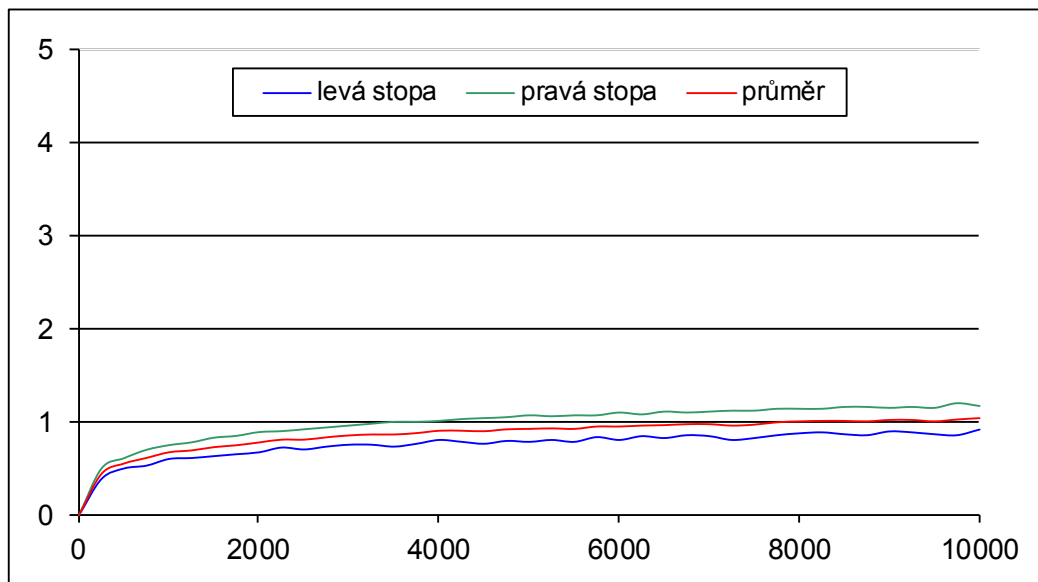


Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - varianta #10

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:	CESTI	druh směsi	ACL 16+ s 40 % R-materiálu
výrobce	Froněk spol. s r.o.	druh pojiva	50/70 (foam)
číslo objednávky:		MZ vzorku č. 1	101,7 %
datum výroby vzorku	24.10.16	MZ vzorku č. 2	100,9 %
datum zkoušky	11.05.17	tloušťka desky 1	50,30 mm
teplota přípravy těles	130 °C	tloušťka desky 2	50,60 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	50,45 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	0,77	0,90	0,13
2	1,07	1,17	0,10
průměr	0,92	1,04	0,12
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,023 mm
	PRD_{AIR}		1,8 %

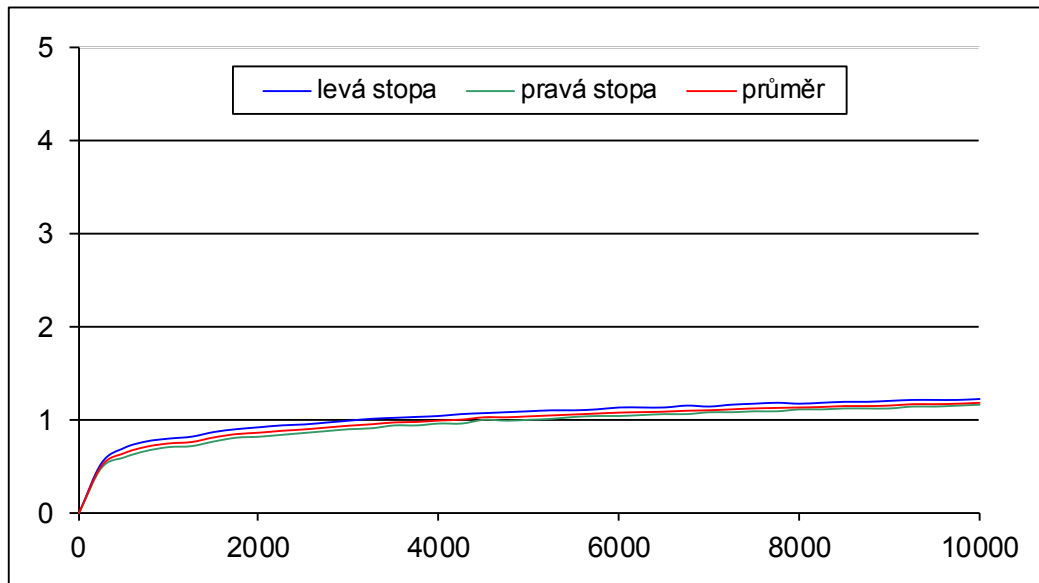


Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - varianta #11

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:	CESTI	druh směsi	ACL 16+ s 60 % R-materiálu
výrobce	Froněk spol. s r.o.	druh pojiva	50/70 (foam)
číslo objednávky:		MZ vzorku č. 1	100,0 %
datum výroby vzorku	24.10.16	MZ vzorku č. 2	100,8 %
datum zkoušky	15.05.17	tloušťka desky 1	50,20 mm
teplota přípravy těles	130 °C	tloušťka desky 2	49,80 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	50,00 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,08	1,21	0,13
2	0,99	1,15	0,16
průměr	1,04	1,18	0,15
přírůstek hloubky koleje WTS _{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,029 mm
	PRD_{AIR}		2,1 %

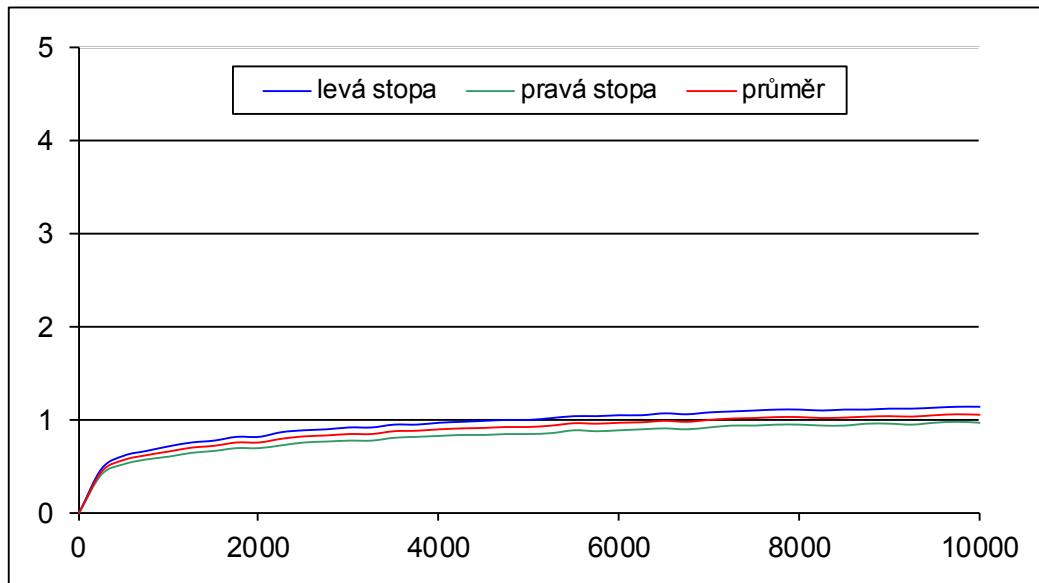


Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - varianta #12

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:	CESTI	druh směsi	ACL 16+ s 60 % R-materiálu
výrobce	Froněk spol. s r.o.	druh pojiva	70/100 + E10
číslo objednávky:		MZ vzorku č. 1	101,4 %
datum výroby vzorku	24.10.16	MZ vzorku č. 2	101,3 %
datum zkoušky	16.05.17	tloušťka desky 1	49,90 mm
teplota přípravy těles	130 °C	tloušťka desky 2	50,00 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	49,95 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	0,99	1,13	0,14
2	0,84	0,96	0,12
průměr	0,92	1,05	0,13
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,026 mm
	PRD_{AIR}		1,8 %

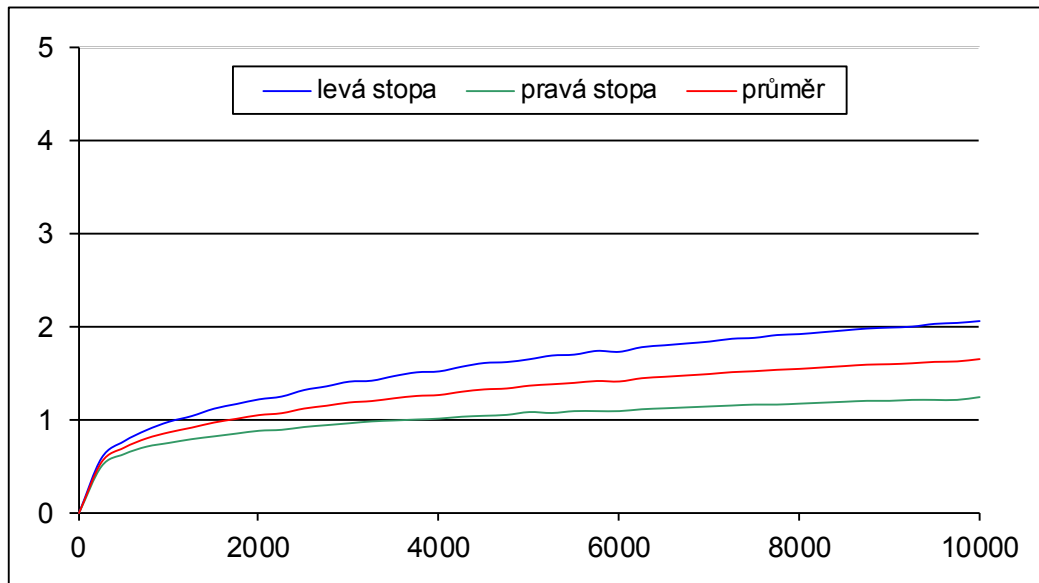


Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím - varianta #13

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:	CESTI	druh směsi	ACL 16+ s 60 % R-materiálu
výrobce	Froněk spol. s r.o.	druh pojiva	50/70 + Zycotherm
číslo objednávky:		MZ vzorku č. 1	101.8 %
datum výroby vzorku	24.10.16	MZ vzorku č. 2	102.8 %
datum zkoušky	15.05.17	tloušťka desky 1	50,10 mm
teplota přípravy těles	130 °C	tloušťka desky 2	49,70 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	49,90 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,65	2,06	0,41
2	1,08	1,24	0,16
průměr	1,37	1,65	0,29
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,057 mm
	PRD_{AIR}		2,7 %