



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

**RECYKLACE ASFALTOVÝCH SMĚSÍ PRO NÍZCE
ZATÍŽENÉ KOMUNIKACE**

RECYCLING OF ASPHALT MIXTURES FOR LOW-TRAFFIC ROADS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Musil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Lukáš Musil
Název	Recyklace asfaltových směsí pro nízce zatížené komunikace
Vedoucí práce	doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Specifikační normy pro asfaltové směsi řady ČSN EN 13108.

Zkušební normy pro asfaltové směsi řady ČSN EN 12697.

Publikace: Technologie stavby vozovek - Jan Zajíček a kol.

Internetové zdroje.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

1. Základní zkoušky R-materiálu a eventuálně též rejuvenátorů.
2. Provedení optimalizace teploty zhutňování.
3. Provedení vybraných empirických laboratorních zkoušek na zhutněné směsi.
4. Sumarizace výsledků, závěr

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá 100% recyklací asfaltové směsi za horka při použití omlazovací přísady (tzv. rejuvenátoru) pro vyvíjený přístroj ve spolupráci s externí firmou. Cílem práce je na základě zjištění vlastností R-materiálu, pomocí zkoušek v laboratoři, určit množství dávkování rejuvenátoru a stanovit teplotu hutnění pro zpracování asfaltové směsi. Podle zjištěných vlastností R-materiálu se určí procentuální množství rejuvenátoru potřebné k dosažení požadovaných vlastností asfaltové směsi pro následné zpracování a pokládku na pozemní komunikaci.

KLÍČOVÁ SLOVA

R-materiál, recyklace asfaltových směsí za horka, rejuvenátor, viskozita asfaltového pojiva

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with 100 % pure recycling by method of hot mix asphalt recycling using a rejuvenating additive (so-called rejuvenator) for the device development in cooperation with an external company. The aim of bachelor's thesis is to determine the amount of dosing of the rejuvenator and to determine the compaction temperature for the processing the asphalt mixture. On the basis of determining the properties of the reclaimed asphalt pavement, by means of tests in the laboratory. According to the determined properties of the reclaimed asphalt pavement, the percentage of rejuvenator required to achieve the required properties of the asphalt mixture for subsequent processing and laying on the road.

KEYWORDS

Reclaimed asphalt pavement, hot mix asphalt recycling, rejuvenator, viscosity of asphalt binder

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Lukáš Musil *Recyklace asfaltových směsí pro nízce zatížené komunikace*. Brno, 2022. 47 s., 2 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Recyklace asfaltových směsí pro nízce zatížené komunikace* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 8. 5. 2022

Lukáš Musil
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Recyklace asfaltových směsí pro nízce zatížené komunikace* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 8. 5. 2022

Lukáš Musil
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce za cenné rady, trpělivost, profesionální přístup a věnovaný čas. Rád bych také chtěl poděkovat Pavlu Strakovi, za jeho ochotu, trpělivost a poradenství co se týče zkoušek, a dalším pracovníkům silniční laboratoři VUT FAST. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině, spolužákům a přátelům za podporu při studiu.

OBSAH

1	ÚVOD.....	11
2	CÍL PRÁCE.....	12
3	TEORETICKÁ ČÁST	13
3.1	R-MATERIÁL	13
3.2	RECYKLACE ASFALTOVÝCH SMĚSÍ	15
3.2.1	RECYKLACE ASFALTOVÝCH SMĚSÍ ZA STUDENA NA MÍSTĚ	15
3.2.2	RECYKLACE ASFALTOVÝCH SMĚSÍ ZA HORKA NA MÍSTĚ	16
3.2.3	RECYKLACE ASFALTOVÝCH SMĚSÍ ZA HORKA V MÍCHACÍM CENTRU	17
3.3	ÚČELOVÉ NÍZCE ZATÍŽENÉ KOMUNIKACE	18
4	PRAKTICKÁ ČÁST	19
4.1	POUŽITÍ REJUVENÁTORU	19
4.2	POSTUP ZKOUŠEK R-MATERIÁLU	19
4.3	POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY.....	20
4.3.1	STANOVENÍ ZRNITOSTI	20
4.3.2	EXTRAKCE ASFALTU.....	24
4.3.3	PENETRACE JEHLLOU	25
4.3.4	KROUŽEK A KULIČKA.....	27
4.3.5	STANOVENÍ DYNAMICKÉ VSKOZITY.....	28
4.3.6	HUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	31
4.3.7	PYKNOMETRICKÁ ZKOUŠKA	33
4.3.8	STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLĚSA.....	36

4.3.9	ZJIŠTĚNÍ MEZEROVITOSTI	40
4.4	OPTIMALIZACE TEPLoty ZHUTŇOVÁNÍ.....	41
4.5	SUMARIZACE PRAKTICKÉ ČÁSTI	41
5	ZÁVĚR.....	42
6	SEZNAMY	43
	Seznam použité literatury	43
	Seznam obrázků.....	44
	Seznam tabulek.....	45
	Seznam grafů.....	46
7	PŘÍLOHY.....	47

1 ÚVOD

Je potřeba recyklovat asfaltové směsi, aby neskončili na skládkách a neznečišťovali životní prostředí, znovupoužití asfaltových směsí je navíc velice ekonomicky výhodné a vlastnosti takovýchto směsí jsou v případě použití přísad a příměsí podobné původním vlastnostem. Při nově vyráběných směsí je problém se stoupající cenou a nízkou dostupností kameniva i asfaltového pojiva. Přesto jsou překážky pro vyšší využití R-materiálu do asfaltových směsí, jako například pochyby investorů o kvalitě, nezájem či nedostatečná motivace investorů. Pro ekonomickou a ekologickou udržitelnost je vhodné využít co největší podíl z původních zdrojů materiálů vozovky.

2 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je zjištění množství dávkování rejuvenátoru a stanovení teploty míchání pro 100 % recyklaci asfaltové směsi za horka pro vyvíjené výrobní zařízení. Toto zjištění má být prováděno na

1. Vzorku R-materiálu z blíže neurčené vozovky silnice
2. Vzorku R-materiálu z blíže neurčené vozovky dálnice

Asfaltová směs má být použita do obrušných vrstev vozovek účelových komunikací bez zaručení parametrů normy ČSN 73 6121.

3 TEORETICKÁ ČÁST

Momentální situace v ČR i v zahraničí zaznamenává stále zvyšující se trend ceny a snižující dostupnosti kvalitního lomového kameniva pro použití do asfaltových směsí. Za nedostatkové zboží se považují i asfaltová pojiva jejichž cena je mnohonásobně vyšší než u kameniva. Asfaltová pojiva jsou vyráběna destilací ropy, jehož množství není neomezené. S tím souvisí prodražení při nově pokládáných pozemních komunikacích, proto se zvažuje znovupoužití položené asfaltové směsi za řádově menší cenu.

Použití R-materiálu je proto výborné řešení za nízkou cenu a s pozitivními vlivy na životní prostředí.

Cena R-materiálu:

1. Ze silnic 1. třídy zhruba 120 Kč/tuna
2. Ze silnic 2. a 3. třídy v jednotkách korun/tuna

Znovupoužití asfaltové směsi se může provádět několika způsoby, záležící především na teplotě. Také záleží, zda je recyklace prováděna přímo na místě nebo zda je materiál převezen do míchacích center.

Druhy Recyklace:

1. Na místě Za studena
2. Na místě Za horka
3. V míchacím centru za studena
4. V míchacím centru za horka

Tyto druhy se dále mohou provádět různými metodami.

R-materiál se může také přimíchávat do nově vytvořených směsí pro snížení nákladů.

3.1 R-MATERIÁL

R-materiál je vyfrézovaná nebo vybouraná asfaltová směs, která se dále upravuje drcením a tříděním. U R-materiálu se zjišťuje zrnitost po

extrakci a provádí se stanovení obsahu pojiva. Na vyextrahovaném pojivu se určují jeho vlastnosti jednoduchými laboratorními zkouškami. V R-materiálu může být obsažen dehet, jehož použití je nutno ze zpracování vyloučit, protože obsahuje cyklické aromatické uhlovodíky, které mohou být nebezpečné pro zdraví pracovníků, kteří s látkami mohou přijít do kontaktu. [1; 2; 3; 4]

Recyklovaný materiál může být vystaven vysokému množství nečistot. Lze předpokládat, že převoz či skladování R-materiálu v blízkosti jiných látek o velikosti menší než 8 mm, může způsobit jeho znečištění. Obsah cizorodých látek v R-materiálu se testuje zkušebními metodami podle normy ČSN EN 13108-8 R-materiál. Cizorodé látky se dělí na dvě podskupiny. Do látek skupiny 1 se řadí cementový beton, cihly, kovy, materiály podkladních vrstev pozemní komunikace. Do druhé skupiny látek se řadí dřevo, plasty a další umělé materiály. Testování vzorku probíhá za pomoci vizuální kontroly, odebráním a zaznamenáním případného znečištění a prosátím přes síto o velikosti ok 4 mm. [5]

Metody laboratorního zkoušení asfaltových směsí se používají k otestování vlastností R-materiálu. Na začátku laboratorních zkoušek je zkoumána zrnitost dané směsi pomocí síťového rozboru s klesajícími velikostmi ok na sítěch. Propad se procentuálně vyhodnotí pomocí grafu. K dalším laboratorním zkouškám je potřeba zjistit zhutnitelnost. Zhutnitelnost je prováděna Marshallovým pěchem nebo vibračním pěchem. Při této zkoušce se vyrábí stmelená zhutněná směs, která je následně testována. Mohou být provedeny zkoušky pojíždění kolem, odolnost proti vodě, popř. dříve používaná zkouška Marshallovy stability a přetvoření. [3; 2; 6]

3.2 RECYKLACE ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Recyklace asfaltových směsí je důležitá pro udržení rozvoje, snížení ekonomických nákladů na novou výstavbu a ochranu životního prostředí. Z dlouhodobějších pozorování lze usoudit, že cena ropy a ropných derivátů bude stále vyšší, proto se předpokládá stále větší zájem o R-materiály a jejich znovupoužití. R-materiál je považován za stále významnější materiál. Při recyklování asfaltové směsi se snižuje tvorba skleníkových plynů. Vybouraný materiál není trvale skladován na skládkách a tím následná recyklace snižuje znečištění. Recyklace asfaltových směsí na standardní šaržové obalovně dovoluje přidání R-materiálu nejvýše do 20 % celkového množství směsi. Tím se zásadně odlišuje od zpracování R-materiálu předebráním v paralelním bubnu obalovny, která umožňuje přidání až 80 % R-materiálu. [1; 2; 3; 4].

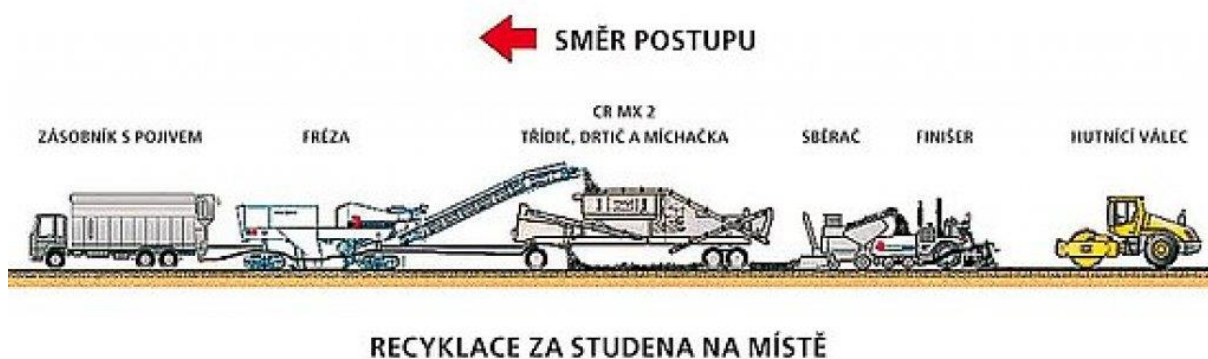
3.2.1 RECYKLACE ASFALTOVÝCH SMĚSÍ ZA STUDENA NA MÍSTĚ

Znovupoužití vybourané asfaltové směsi se považuje za moderní a pokrokovou technologii, která zlepšuje stav silnic nejen u nás, ale i ve světě. Technologie recyklace směsí se dále dělí podle místa zpracování R-materiálu na recyklaci v míchacím centru nebo na stejné stavbě, kde dochází k vybourání asfaltové směsi tzv. in situ.

Postup zpracování asfaltové směsi za studena při použití R-materiálu je realizován přímo do míchačky nebo je R-materiál skladován v zásobárnách taktéž jako již kamenivo zatříděné podle frakcí. R-materiál je dávkován přes váhu stejně jako frakce kameniva.

Zpracování na místě se skládá z cyklu tzv. recyklační kolony (viz obrázek 1). Při recyklační koloně je odstraněna stávající konstrukční vrstva vozovky frézovacím bubnem, poté je přidávána voda, příměsi a pojiva pro zlepšení vlastností stávající asfaltové směsi. Zlepšená směs je znovu

pokládána jako standartní pokládka finišerem se zhutňováním.



Obrázek 1 Recyklace za studena na místě (znázornění recyklační kolony) [7]

Tato technologie je velice levná a časově méně náročná než rekonstrukce komunikací standardní metodou. Tento postup je uplatňován většinou až po uskutečnění a zpracování diagnostického průzkumu, který určuje vhodnost této technologie. [2; 7]

3.2.2 RECYKLACE ASFALTOVÝCH SMĚSÍ ZA HORKA NA MÍSTĚ

Technologie recyklace asfaltových směsí na místě za studena může být nahrazena technologií recyklace asfaltových směsí na místě za horka. Její výhoda oproti technologii za studena je zachování původního tvaru kameniva a menší obsah jemné frakce kameniva, kterou způsobuje fréza při vybourávání směsi.

Způsob provádění se liší od ostatních hlavně v nahřívání vozovky pomocí infrazářičů na požadovanou teplotu. Nevýhodou může být vyšší produkce těkavých organických sloučenin.

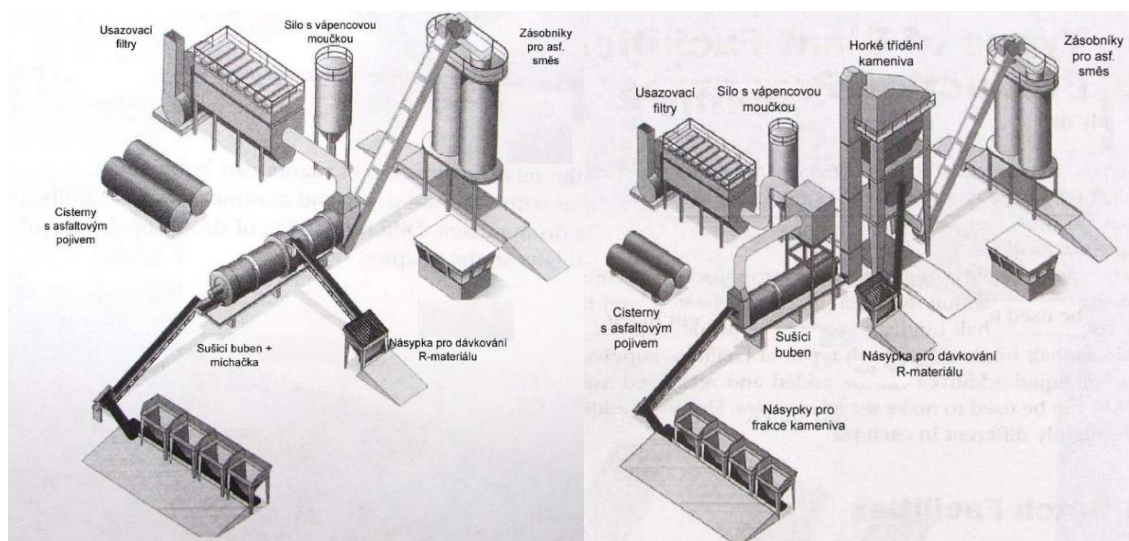
Může být využita třetí technologie tzv. recyklace asfaltových směsí na místě za tepla, která kombinuje výhody a zamezuje nevýhodám u obou zmíněných technologií. Teplota ohřevu směsi je snížena při přidání aditiva tetraethylenpentaminu. Díky aditivu lze docílit snížení teploty směsi při pokládce ze 140 °C na 120 °C, čímž se může snížit energie potřebná k vytápění např. u vytápění pomocí LPG snížení teploty o 20 °C způsobí

úsporu 21 % plynu. Tato technologie by mohla znamenat revoluci v recyklačních postupech na místě. [8]

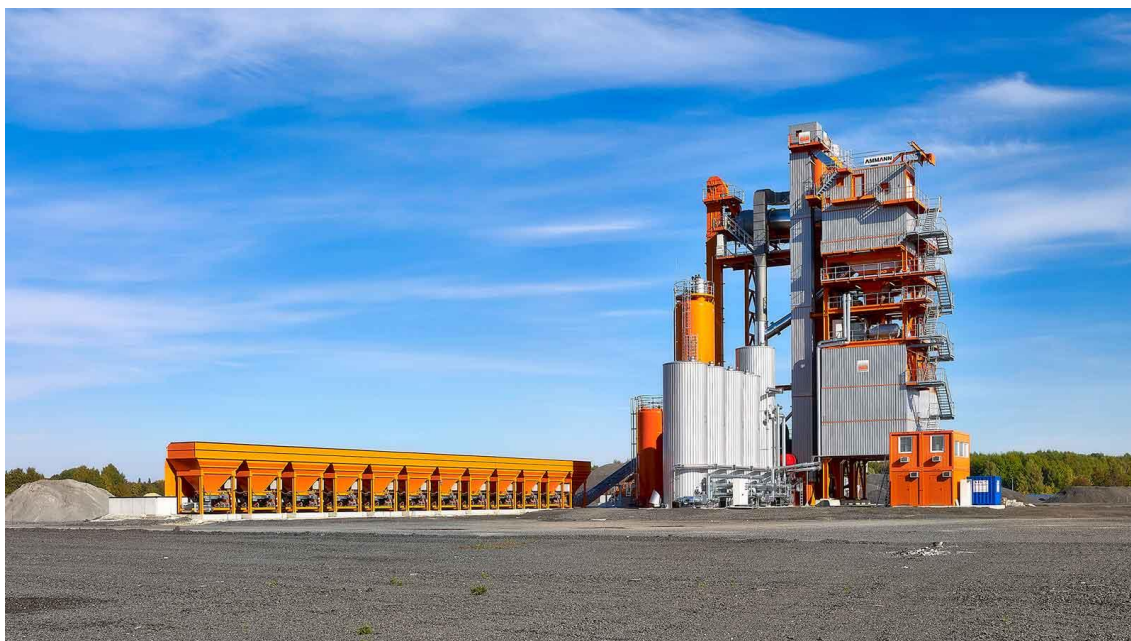
3.2.3 RECYKLACE ASFALTOVÝCH SMĚSÍ ZA HORKA V MÍCHACÍM CENTRU

Je technologický proces, při kterém se v míchacích centrech přidává R-materiál do vyráběných směsí. Jedná se o nejefektivnější způsob, jak lze zpracovat R-materiál.

Rozlišujeme 3 různé varianty recyklace asfaltových směsí za horka v míchacím centru. Jedna z variant je metoda drum-mix, ve které hraje hlavní roli kontinuální obalovna. Další dvě metody jsou prováděny v šaržové obalovně a odlišují se teplotami nahřátí asfaltové směsi



Obrázek 2 Schéma kontinuální obalovny / Schéma šaržové obalovny [9]



Obrázek 3 Šaržová obalovna ABP 240-400 HRT [10]

V šaržové obalovně je maximální používané množství R materiálu kolem 25 % pro větší procentuální podíl by byly příliš vysoké teploty kameniva. Používají se teploty 250 °C a více kvůli vlhkosti R-materiálu, který je většinou skladován v nezastřešených prostorech. V kontinuální obalovně se může přidat až 80 % R materiálu do výsledné směsi. Díky předehtání v paralelním bubnu není třeba směs zahřívat na vysokou teplotu, používá se maximální teplota 130 °C.

3.3 ÚČELOVÉ NÍZCE ZATÍŽENÉ KOMUNIKACE

Účelovou nízce zatíženou komunikací se rozumí, obslužná asfaltová pozemní komunikace, kde nemusí být dodržena norma ČSN 73 6121.

4 PRAKTICKÁ ČÁST

V laboratorním testování byl použit 100% vyfrézovaný vzorek ze silnice a 100% vyfrézovaný vzorek z dálnice pouze s přidáním rejuvenační přísady.

4.1 POUŽITÍ REJUVENÁTORU

Rejuvenátor je definován jako přísada pro aktivaci a komplexní oživení zoxidovaného nebo zestárlého asfaltového pojiva. Důvodem použití rejuvenační přísady bývá příliš vysoká teplota hutnění při recyklaci asfaltové směsi za horka. Bez použití rejuvenační přísady by mohly být teploty příliš vysoké a mohlo by dojít k trvalému tepelnému poškození asfaltového pojiva.

S použitím rejuvenační přísady je snižována teplota hutnění k položení asfaltové směsi. Dále také dovoluje přiblížit se co nejvíce požadovanému asfaltovému pojivu (zde pojivu 50/70) a navrátit tak podobné parametry jako kdyby směs byla nově vyrobena. Pro zkoušky uvedené v této bakalářské práci byl použit rejuvenátor ANOVA 1817 od výrobce Ciur.

Dávkování bylo provedeno dle internetové stránky <http://web.rejuvenator.eu> po zadání známých parametrů.

4.2 POSTUP ZKOUŠEK R-MATERIÁLU

Pro provedení zkoušek byly nejprve zjištěny parametry R-materiálu, extrakce asfaltu sloužící k oddělení kameniva a asfaltového pojiva a následně byl na kamenivu proveden síťový rozbor. Na asfaltovém pojivu provedeny zkoušky penetrace jehlou, kroužek a kulička, dynamická viskozita. Dále po zhutnění a vytvoření Marshallových těles za běžné teploty, byla zjištěna mezerovitost a celkový vizuální stav zhutněných těles.

Po zjištění všech vlastností R-materiálu bylo potřeba zjistit procentuální poměr přidání omlazovací přísady (rejuvenátoru) ku asfaltovému pojivu. Pro zjištění tohoto poměru byl použit program vytvořený doktorandy VUT fakulty stavební, Ústavu pozemních komunikací, dostupný

na webové stránce <http://web.rejuvenator.eu>. Výpočet dávkování bylo provedeno k zajištění vlastností a dosažení parametrů znovu pokládané směsi

Po zjištění procentuálního podílu rejuvenátoru, bylo potřeba ověřit teoretické předpoklady směsi v praxi. Musela být zjištěna dynamická viskozita pro asfaltové pojivo s rejuvenátorem, podle které byla zjištěna teplota hutnění. Podle teploty hutnění byla dále vytvořena Marshallova tělesa, také byla zjištěna mezerovitost a celkový vizuální stav těles

4.3 POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY

4.3.1 STANOVENÍ ZRNITOSTI

Očištěnou vyfrézovanou směs od asfaltového pojiva je nutno podrobit síťovému rozboru kameniva dle ČSN EN 993-1. Provedení síťového rozboru je za účelem zjištění procentuálních propadů na jednotlivých sítích a jejich vyobrazení v grafu. Síťový rozbor byl proveden na sítích o minimální velikosti oka 0,063 mm a maximální 63 mm.

Postup zkoušky: Prosévání se uskutečňuje na sloupci sít, která jsou seřazena podle velikosti ok na sítích. Z vrchní části jsou kryta víkem a ve spodní části je umístěna propadová mísa na jemnozrnnou frakci kameniva. Prosévání je uskutečněno pomocí vibrování v laboratorní třepačce. Laboratorní váhou je určena hmotnost zachycených frakcí kameniva na jednotlivých sítích, dále je určena hmotnost propadu na dně soustavy sít a je připočtena k zachyceným jemnozrnným částicím z extrakce asfaltu.

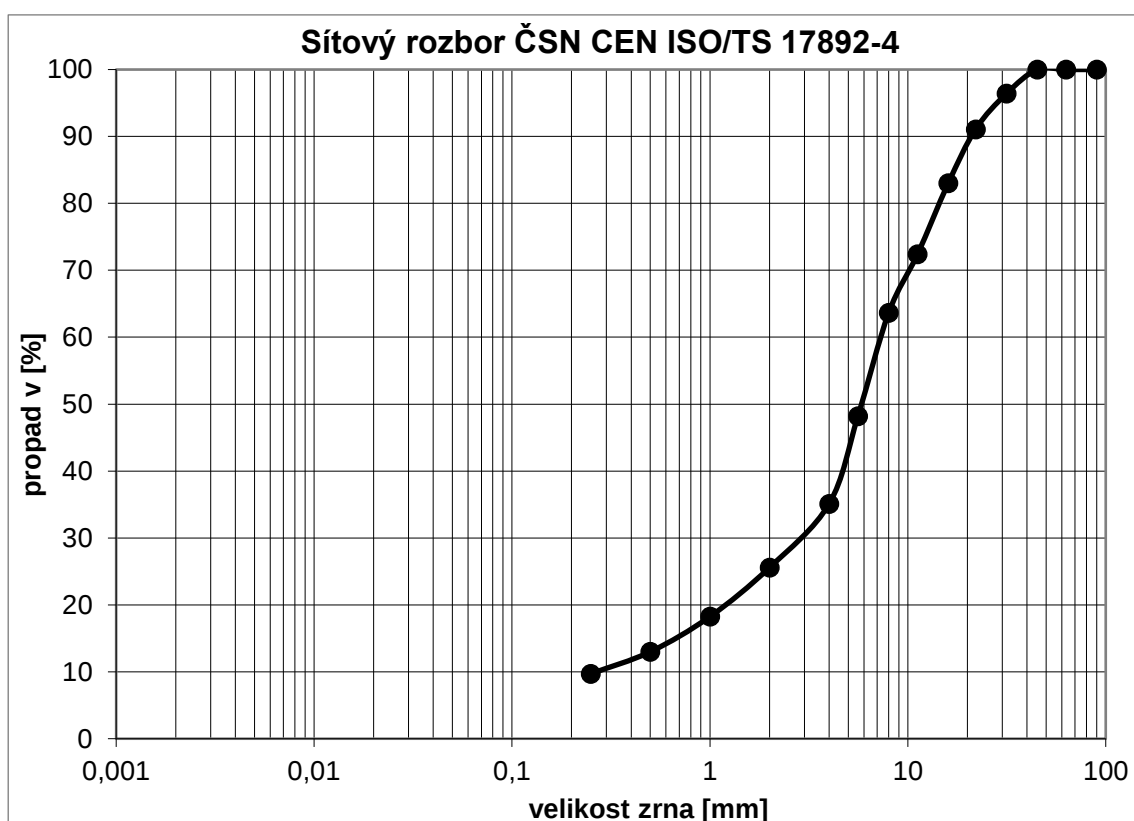


Obrázek 4 Vážení dílčí úzké frakce kameniva / Vážení jemnozrnných frakcí

Výsledky zkoušky:

vzorek č.1 (silnice)		hmotnost vzorku po očištění kameniva		950,5g
sítový rozbor		obsah asfaltu		5,72 %
Vel.síta	na síť [g]	záchyt na síť [%]	Celk. záchyt na sítěch [%]	propad na sítěch [%]
22	0	0,00	0	100,00
16	34,2	3,60	3,60	96,40
11,2	50,5	5,31	8,91	91,09
8	76,8	8,08	16,99	83,01
5,6	100,7	10,59	27,59	72,41
4	83,4	8,77	36,36	63,64
2	146,5	15,41	51,77	48,23
1	124,9	13,14	64,91	35,09
0,5	90,4	9,51	74,42	25,58
0,25	69,7	7,33	81,76	18,24
0,125	49,9	5,25	87,01	12,99
0,063	31,3	3,29	90,30	9,70
dno	92,2	9,70	100,00	0,00
celk.	950,5	100,00	100,00	

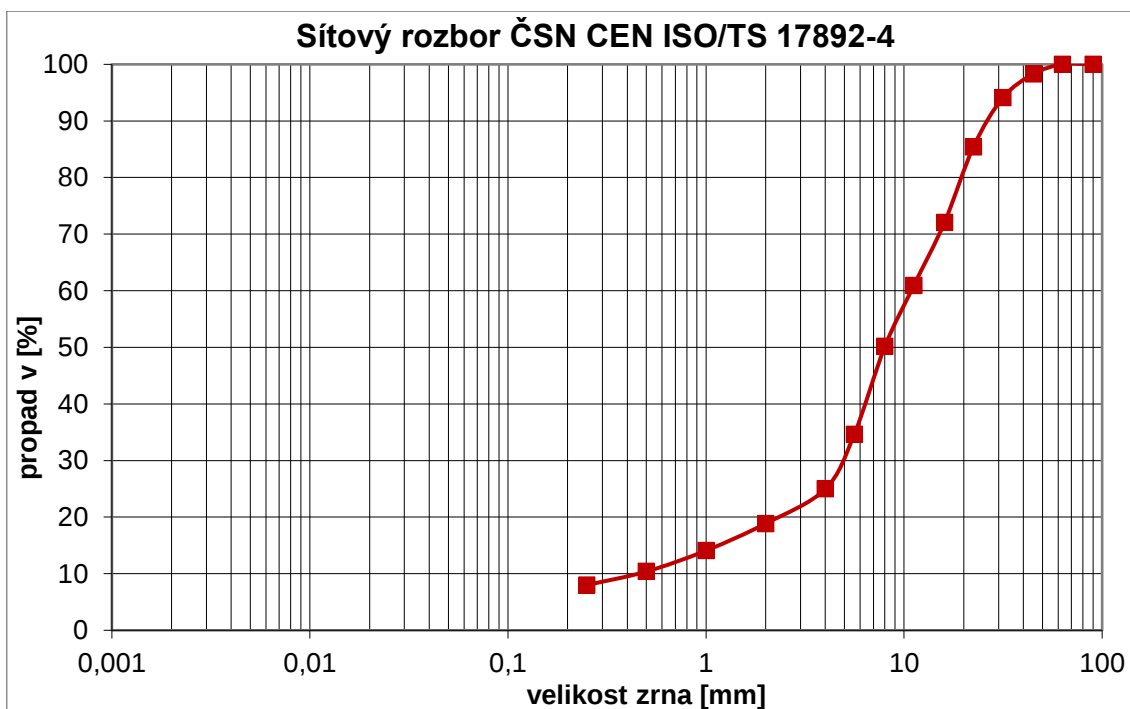
Tabulka 1 Sítový rozbor kameniva silničního vzorku



Graf 1 Sítový rozbor kameniva silničního vzorku

vzorek č.2 (dálnice)		hmotnost vzorku po očištění kameniva		1049,9g
sítový rozbor		obsah asfaltu		4,30 %
Vel.síta	na síť [g]	záchyt na síť [%]	celk. záchyt na sítěch [%]	propad na sítěch [%]
31,5	0	0,00	0	100,00
22,4	17,8	1,70	1,70	98,30
16	44,3	4,22	5,91	94,09
11,2	91	8,67	14,58	85,42
8	140,1	13,34	27,93	72,07
5,6	117	11,14	39,07	60,93
4	113,2	10,78	49,85	50,15
2	163,2	15,54	65,40	34,60
1	101,1	9,63	75,03	24,97
0,5	64,2	6,11	81,14	18,86
0,25	50,1	4,77	85,91	14,09
0,125	38,9	3,71	89,62	10,38
0,063	25,1	2,39	92,01	7,99
dno	83,9	7,99	100,00	0,00
celk.	1049,9	100,00	100,00	

Tabulka 2 Sítový rozbor kameniva dálničního vzorku



Graf 2 Sítový rozbor kameniva dálničního vzorku

4.3.2 EXTRAKCE ASFALTU

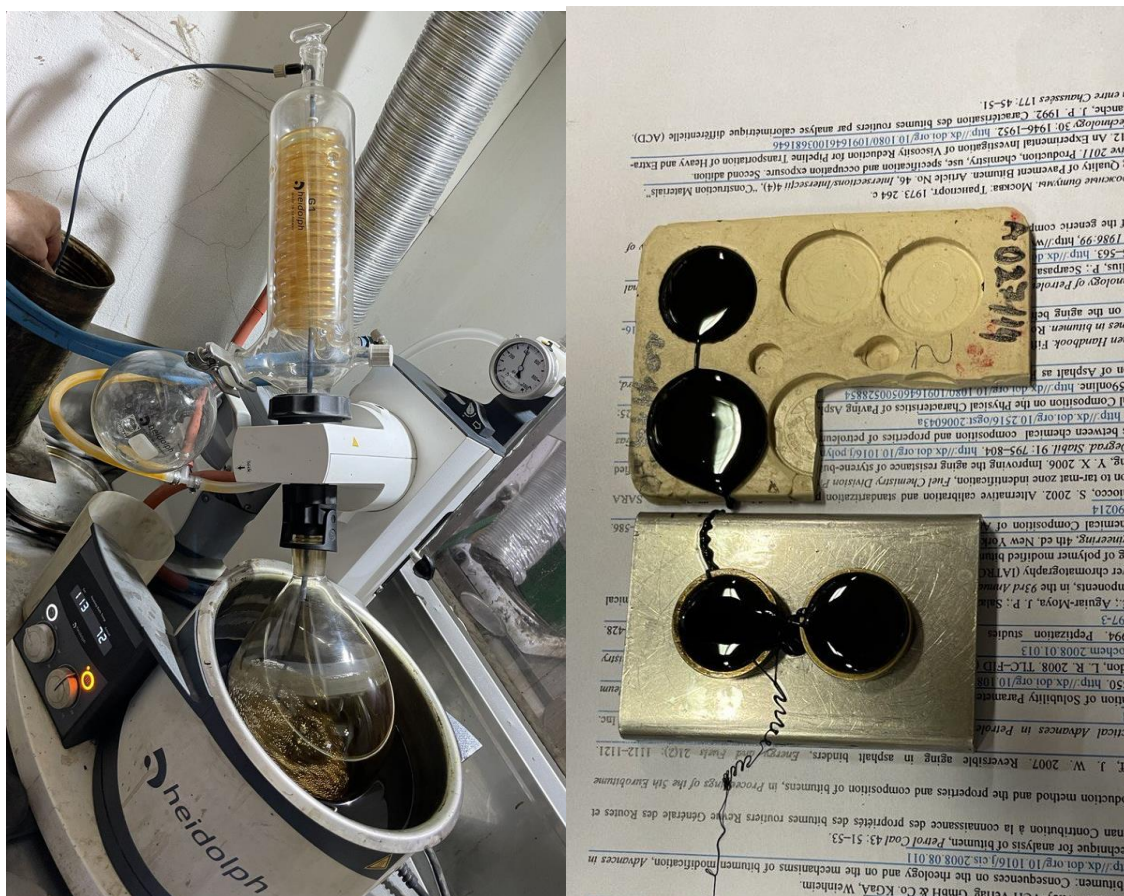
Z R-materiálu je potřeba extrahovat asfalt pro další zkoušky. Byl vybrán vzorek R-materiálu opakovaným kvartováním dle ČSN EN 12697-28 pro získání nejvěrnějšího poměru všech zastoupených frakcí kameniva ve vzorku. Posledním kvartováním byl získán vzorek o hmotnosti zhruba 1000 g. Nejprve bylo kamenivo očištěno pomocí perchloru v průtokové odstředivce, kde byly zachyceny jemnozrnné složky na stěnách válce, a které byly následně připočteny k propadu na dně u soustavy sít. R-materiál byl tímto způsobem rozdělen na kamenivo a asfalt smíchaný s perchlorem.



Obrázek 5 Zachycená jemnozrnná frakce při čištění vzorku v odstředivce / Vážení zachytného válce

Extrakce dále probíhala na destilačním zařízení, kde byl perchlor destilován do oddělené nádoby. Asfaltová směs byla dále zahřívána až na teplotu 160 °C pro vypaření olejů a různých dalších příměsí nashromážděných v asfaltu. Extrahovaný asfalt byl nalit do zkušebních

nádob pro následnou zkoušku viskozity, penetraci jehlou a zkoušku kroužek a kulička.



Obrázek 6 Destilační zařízení / Naplněné formy pro zjištění dynamické viskozity a kroužku a kuličky

4.3.3 PENETRACE JEHLOU

Penetrace jehlou proběhla pomocí penetrometru dle ČSN EN 1426.

Postup zkoušky: Asfaltové pojivo bylo temperováno ve vodní lázni na teplotu $(25 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$. Nádobka s asfaltovým pojivem byla umístěna pod penetrační jehlu. Penetrační jehla byla manuálně nastavena tak, aby byla v přímém kontaktu s hladinou asfaltového pojiva. Po zapnutí penetrometru začala penetrační jehla nastavená na povrch vzorku pronikat do asfaltového pojiva. Po 5 sekundách skončilo zatěžování a pomocí digitálního posuvného měřidla byla zaznamenána hodnota na obrazovce přístroje. Odečítaná hodnota se udává v penetračních jednotkách (hodnotách desetiny milimetru).



Obrázek 7 Penetrometr s naměřenou hodnotou / Detail doteku penetrační jehly na hladině asfaltového pojiva

Výsledek zkoušky:

vzorek č.1 (silnice)	
Penetrace jehlou	
Hl. vpichu 1. pokus	16,3
Hl. vpichu 2. pokus	15,7
Hl. vpichu 3. pokus	16
Průměr:	16

vzorek č.2 (dálnice)	
Penetrace jehlou	
Hl. vpichu 1. pokus	18,7
Hl. vpichu 2. pokus	19,2
Hl. vpichu 3. pokus	19,1
Průměr:	19

Tabulka 3 a 4 Zaznamenání hloubky vpichu penetrační jehly do asfaltového pojiva v penetračních jednotkách

4.3.4 KROUŽEK A KULIČKA

Metoda kroužek a kulička slouží ke stanovení bodu měknutí dle ČSN EN 1427. **Postup zkoušky:** Po extrakci asfaltu bylo asfaltové pojivo nalito do mosazných kroužků a bylo necháno vychladnout. Dále byly připraveny periferie přístroje a skleněná nádoba, do které byla v obou případech nalita voda (možno použít glycerin při vyšších teplotách bodu měknutí). Do nádoby s vodou bylo vloženo ústrojí, na kterém byly připraveny kroužky s asfaltovým pojivem. Na tyto kroužky, s asfaltovým pojivem, byly vloženy ocelové kuličky, které asfaltové pojivo zatěžovaly. Přístroj byl dále uveden do provozního stavu. Po ukončení zkoušky byla odečtena hodnota na obrazovce přístroje.

Princip zkoušky spočívá v zahřívání vody v nádobě do bodu měknutí asfaltového pojiva. Při bodu měknutí a zatěžováním ocelové kuličky se asfaltové pojivo začne protahovat, dokud nepřeruší laserový paprsek, čímž dojde k ukončení zkoušky. Výsledné teploty bodu měknutí se zobrazí na obrazovce přístroje.



Obrázek 8 Připravené soustrojí kroužek a kulička / Přerušení laserového paprsku



Obrázek 9 Výsledné teploty bodu měknutí zjištěné přístrojem

Výsledky zkoušky:

vzorek č.1 (silnice)	
Zkouška kroužek – kulička	
Provedeno:	ve vodě
Pravá kulička:	74,4 °C
Levá kulička:	74,8 °C
Průměr:	74,6 °C
Rozdíl:	0,4 °C

vzorek č.2 (dálnice)	
Zkouška kroužek – kulička	
Provedeno:	ve vodě
Pravá kulička:	73,7 °C
Levá kulička:	73,9 °C
Průměr:	73,8 °C
Rozdíl:	0,2 °C

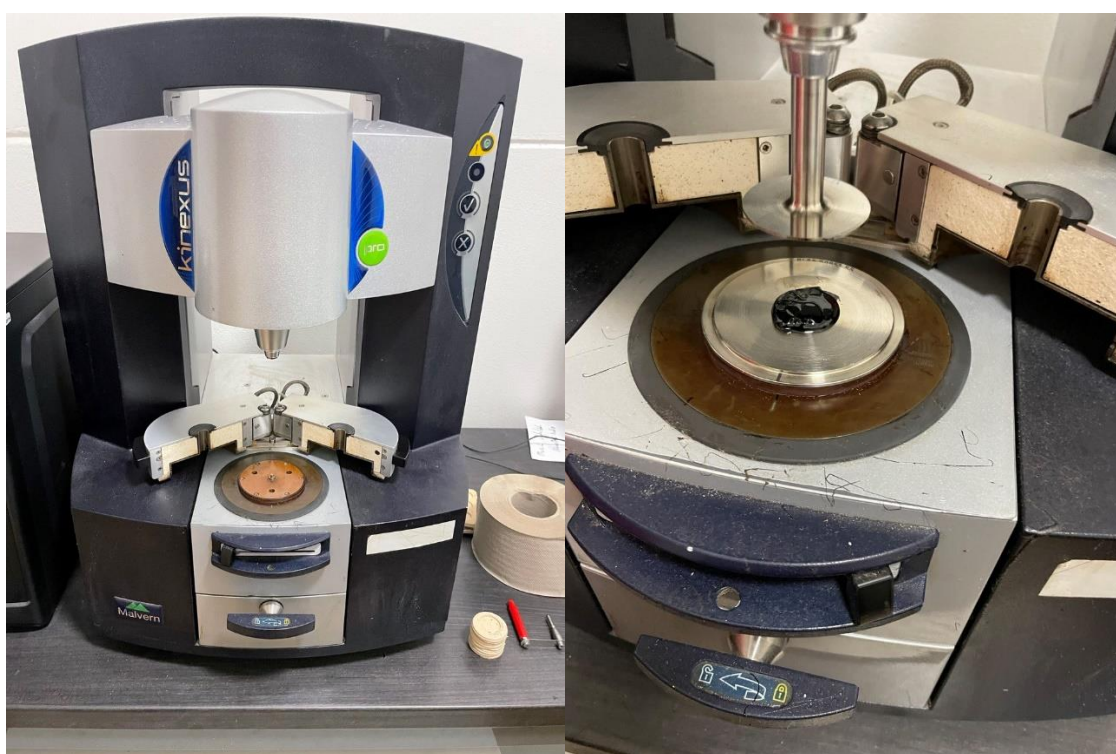
Tabulka 5 a 6 Určují výsledné teploty bodu měknutí

4.3.5 STANOVENÍ DYNAMICKÉ VISKOZITY

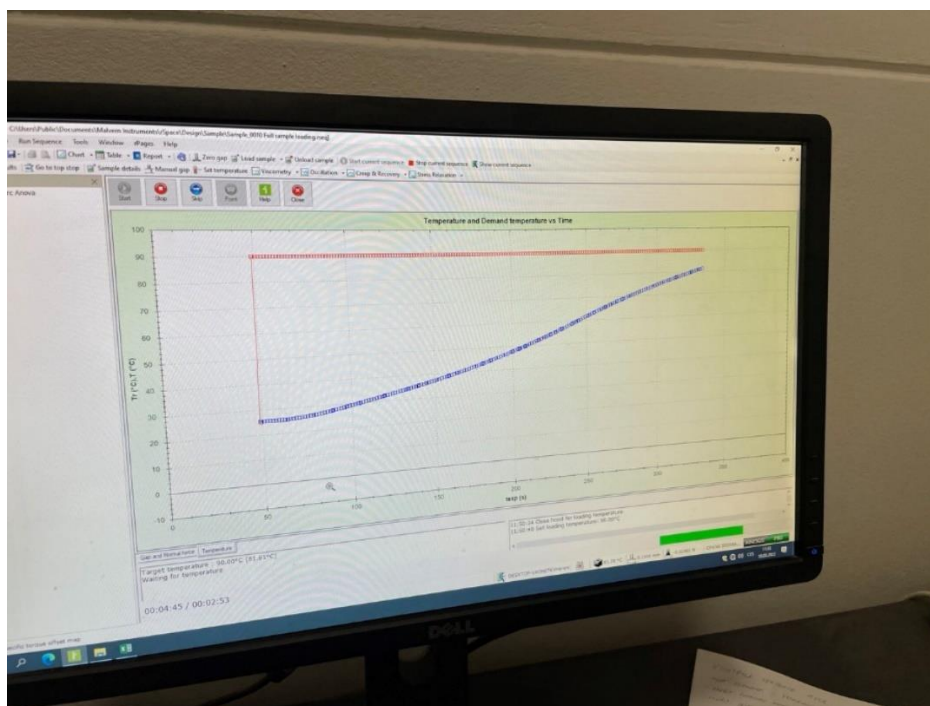
Stanovení dynamické viskozity bylo provedeno metodou kužel – deska pomocí dynamického smykového reometru dle ČSN EN 13702. Na tuto metodu byl použit pouze vzorek odlitého asfaltu do stáří několika dní.

Postup zkoušky: Geometrii kužele bylo nutno nejdříve očistit od asfaltu z minulé zkoušky pomocí rozpouštědla. Kalibrace byla provedena na počítači.

Následně byl vzorek asfaltového pojiva vložen do přístroje s testovací komorou. Testování proběhlo znovu na počítači. Přístroj nejdříve vzorek zahřál v testovací komoře na testovací teplotu, dále se kužel dostal do kontaktu se vzorkem a roztočil se. Poté přístroj vypočítal dynamickou viskozitu testovaného vzorku. Tento postup byl opakován se zvyšující se teplotou. Konečná fáze testování proběhla při teplotě 165 °C. Při vyšší teplotě je potřeba odhadnout hodnotu pomocí funkční závislosti předchozích hodnot.



Obrázek 10 Dynamický smykový reometr / Připravený vzorek asfaltového pojiva



Obrázek 11 Grafické znázornění stoupající teploty v komoře DSR

Výsledky zkoušky:

Viskozita asfaltového pojiva bez rejuvenační přísady:

viskozita (vzorek silnice)	
T (°C)	η (mPa·s ⁻¹)
90	181100,0
105	40135,0
120	10382,0
135	3410,0
150	1385,7
165	679,9

viskozita (vzorek dálnice)	
T (°C)	η (mPa·s ⁻¹)
90	190533,3
105	42726,7
120	11200,0
135	3588,8
150	1453,9
165	710,4

Tabulka 7 a 8 Znázornění závislosti viskozity na teplotě

Viskozita asfaltového pojiva s rejuvenační přísadou ANOVA 1817:

viskozita ANOVA 10 % (silnice)	
T (°C)	η (mPa·s ⁻¹)
90	30553,8
105	8059,4
120	2710,8
135	1128,7
150	555,5
165	307,1

viskozita ANOVA 8 % (dálnice)	
T (°C)	η (mPa·s ⁻¹)
90	36083,3
105	9496,3
120	3067,4
135	1243,6
150	604,1
165	330,2

Tabulka 9 a 10 Znázornění závislosti viskozity na teplotě s rejuvenační přísadou

4.3.6 HUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Hutnění zkušebních těles rázovým zhutňovačem dle ČSN EN 12697-30.

Na výrobu tzv. Marshallových těles byla asfaltová směs zahřátá v sušárně na vypočítanou teplotu hutnění spolu s formou, podložkou, trychtýřem a nástavcem hutnicího pěchu. Navážený R-materiál byl poměrově nasypán do ocelových nádob v počtu potřebných Marshallových těles. Byla připravena forma nahřátá na teplotu hutnění, na její dno byla vložena papírová podložka zabraňující nalepení zhutňované směsi na periferie formy. Do takto připravené formy se po třetinách nasypala zahřátá směs a urovnala

se špachtlí do roviny. Po dokončení sypaní byl odstraněn trychtýř a byla vložena druhá papírová podložka. Dále se forma s asfaltovou směsí vložila do Marshallova zhutňovače. Poté se připravil na povrch směsi hutnící pěch a zapnutím přístroje se spustila sekvence 50 rázů. Po skončení bylo nutno tento postup opakovat otočením formy a znovuspuštěním přístroje. Dále bylo potřeba odstranit použité papírové podložky a formu se zhutněnou směsí nechat vychladnout. V poslední řadě bylo nutno vyjmout zhutněnou směs z formy za pomoci hydraulického lisu.

U Marshallových těles bylo potřeba zkontrolovat rozměry (průměr $101,6 \pm 0,1$ mm, výška $63,5 \pm 8$ mm měřeno na 4 místech tělesa). Když první testovací těleso neodpovídalo daným rozměrům, musely být upraveny navážky připravené k výrobě dalších těles.



Obrázek 12 Forma na tvorbu Marshallových těles / Rázové zhutňovací zařízení



Obrázek 13 Výsledná Marshalllova tělesa

4.3.7 PYKNOMETRICKÁ ZKOUŠKA

Stanovení maximální objemové hmotnosti volumetrickým postupem dle ČSN EN 12697-5.

Postup zkoušky: Byl vybrán vzorek R-materiálu opakovaným kvartováním dle EN 12697-28 pro získání nejvěrnějšího poměru všech zastoupených frakcí kameniva ve vzorku. Posledním kvartováním byl získán vzorek R-materiálu, který byl vysušen v sušárně při teplotě nižší než $110 (\pm 5) ^\circ\text{C}$. Bylo potřeba stanovit hmotnost prázdného pyknometru s nástavcem (m_1) s určeným objemem (V_p). Vzorek ze sušárny byl umístěn do pyknometru

a byl temperován na pokojovou teplotu. Dále byla určena hmotnost temperovaného pyknometru s R-materiálem (m_2).



Obrázek 14 Vážení prázdného pyknometru s nástavcem / Vážení pyknometru s asfaltovou směsí a nástavcem

Pyknometr se vzorkem byl poté naplněn perchlorem 30 mm pod okraj. Následně byl míchán a vibrován bez použití vakua. Do vzorku byl dále nasazen nástavec pyknometru, který byl naplněn perchlorem až po rysku. Naplněný pyknometr byl vložen do vodní lázně s rovnoměrnou zkušební teplotou ($\pm 0,2$ °C) na 60 minut. Poté byl perchlor doplněn po rysku na nástavci, pyknometr byl vytáhnut z vodní lázně a osušen. Hned po vytáhnutí pyknometru byla zjištěna jeho celková hmotnost (m_3). [11]



Obrázek 15 Pycnometr s asfaltovou směsí a perchlorem ve vodní lázni

Výsledky zkoušky:

Výsledek silničního vzorku:

$$\rho_{mw} = \frac{m_2 - m_1}{10^6 \times V_p - \frac{(m_3 - m_2)}{\rho_{perchlor}}}$$

$$\rho_{mw} = \frac{1971,3 - 703,3}{10^6 \times 0,0013206 - (3275,7 - 1971,3)/1,161}$$

$$\rho_{mw} = 2,4697 \text{ Mg/m}^3$$

Výsledek dálničního vzorku:

Dálniční vzorek byl testován na dvou pyknometrech pro kontrolu výsledku.

$$\rho_{mw} = \frac{m_2 - m_1}{10^6 \times V_p - \frac{(m_3 - m_2)}{\rho_{perchlor}}}$$

$$\rho_{mwII} = \frac{1891,8 - 703,3}{10^6 \times 0,0013206 - (3243,2 - 1891,8)/1,161}$$

$$\rho_{mwV} = \frac{1997,6 - 693,14}{10^6 \times 0,0013234 - (3288,9 - 1997,6)/1,161}$$

$$\rho_{mwII} = 2,4539 \text{ Mg/m}^3$$

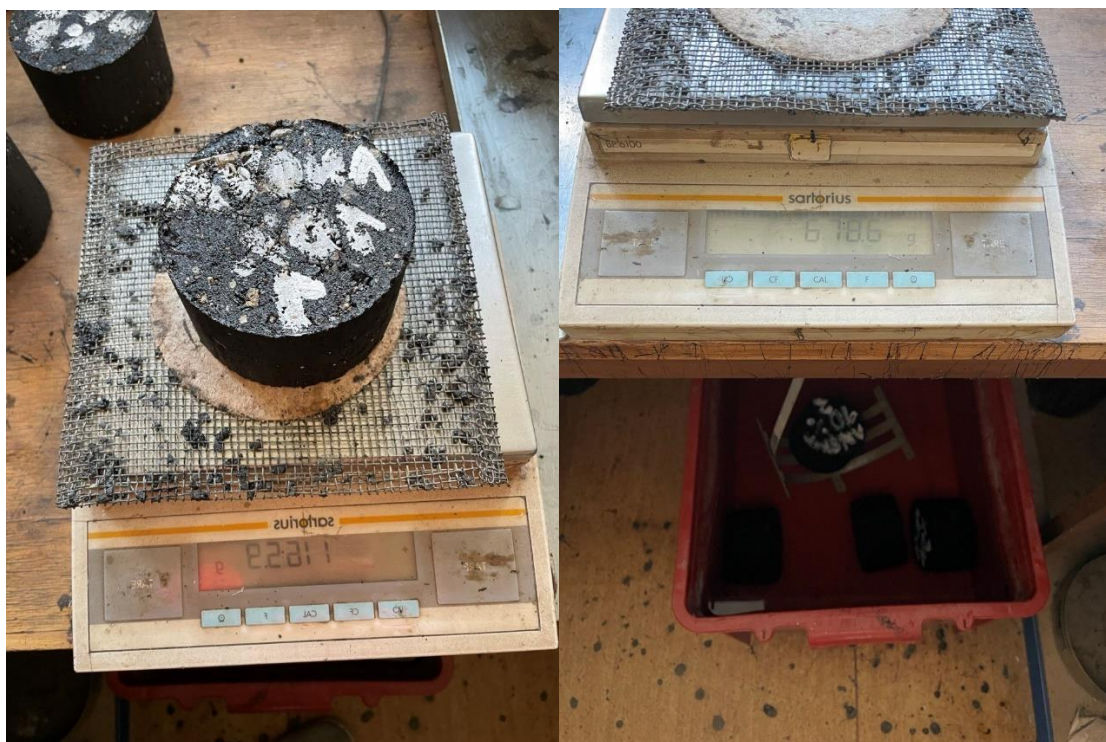
$$\rho_{mwV} = 2,4878 \text{ Mg/m}^3$$

ρ_{mw}	je objemová hmotnost asfaltové směsi (kg/m^3)
m_1	je hmotnost pyknometru s nástavcem (g)
m_2	je hmotnost pyknometru s nástavcem a zkušebním vzorkem (g)
m_3	je hmotnost pyknometru s nástavcem, zkušebním vzorkem a perchlorem naplněným po rysku na nástavci (g)
V_p	je objem pyknometru po rysku na nástavci (m^3)
$\rho_{perchlor}$	je hustota perchloru při zkušební teplotě (kg/m^3)

4.3.8 STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLĚSA

Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa dle ČSN EN 12697-6

Postup zkoušky: Stanoví se hmotnost suchého zkušebního tělesa (m_1) a určí se hustota vody při zkušební teplotě (ρ_w). Poté se stanoví hmotnost ponořeného nasyceného tělesa ve vodní lázni, kde bylo těleso ponořeno minimálně 30 minut (m_2). Těleso je vyjmuto z vody a musí být povrchově osušeno. Ihned se stanoví hmotnost povrchově osušeného tělesa (m_3). Poté se objemová hmotnost zkušebního tělesa vypočítá pomocí vzorce.



Obrázek 16 Stanovení hmotnosti suchého tělesa / Stanovení hmotnosti nasyceného tělesa ve vodě



Obrázek 17 Stanovení hmotnosti povrchově osušeného nasyceného tělesa

Výsledky zkoušky:

$$\rho_w = 1,00025205 + \left(\frac{7,93 \times t - 5,32 \times t^2}{1000000} \right)$$

$$\rho_w = 1,00025205 + \left(\frac{7,93 \times 23,3 - 5,32 \times 23,3^2}{1000000} \right)$$

$$\rho_w = 0,9975$$

ρ_w je hustota vody při zkušební teplotě (Mg/m³)

t je teplota vody při zkušební teplotě (°C)

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

$$\rho_{bssd} = \frac{1168}{1179,2 - 668,2} \times 0,9975$$

$$\rho_{bssd} = 2,28$$

ρ_{bssd} je objemová hmotnost zkušebního tělesa (Mg/m³)

m_1 je hmotnost suchého zkušebního tělesa (g)

m_2 je hmotnost tělesa ve vodě (g)

m_3 je hmotnost povrchově osušeného nasyceného tělesa (g)

Stanovení objemové hmotnosti asphaltového zk. tělesa (vzorek silnice)			
	teplota vody	23,3	°C
	hustota vody	0,9975	Mg/m ³
Vzorek LM1	m ₁ – suché těleso	1168	g
	m ₂ – nasycené těleso	668,2	g
	m ₃ – osušené těleso	1179,2	g
	r _{bssd} - obj. hmotnost	2,280	Mg/m ³
Vzorek LM2	m ₁ – suché těleso	1168	g
	m ₂ – nasycené těleso	675,2	g
	m ₃ – osušené těleso	1176,4	g
	r _{bssd} - obj. hmotnost	2,325	Mg/m ³
Vzorek LM3	m ₁ – suché těleso	1162	g
	m ₂ – nasycené těleso	674,2	g
	m ₃ – osušené těleso	1169,4	g
	r _{bssd} - obj. hmotnost	2,341	Mg/m ³

Tabulka 11 Stanovení objemové hmotnosti silničního vzorku

Stanovení objemové hmotnosti asphaltového zk. tělesa (vzorek silnice s přidaným rejuvenátorem 10 % ANOVA)			
	teplota vody	19,8	°C
	hustota vody	0,9983	Mg/m ³
Vzorek LM1	m ₁ – suché těleso	1165,9	g
	m ₂ – nasycené těleso	683,3	g
	m ₃ – osušené těleso	1167,4	g
	r _{bssd} – obj. hmotnost	2,404	Mg/m ³
Vzorek LM2	m ₁ – suché těleso	1163,2	g
	m ₂ – nasycené těleso	678,6	g
	m ₃ – osušené těleso	1163,8	g
	r _{bssd} – obj. hmotnost	2,393	Mg/m ³
Vzorek LM3	m ₁ – suché těleso	1171,3	g
	m ₂ – nasycené těleso	682,1	g
	m ₃ – osušené těleso	1172,5	g
	r _{bssd} – obj. hmotnost	2,384	Mg/m ³
Vzorek LM4	m ₁ – suché těleso	1170,5	g
	m ₂ – nasycené těleso	681,7	g
	m ₃ – osušené těleso	1171,8	g
	r _{bssd} – obj. hmotnost	2,384	Mg/m ³

Tabulka 12 Stanovení objemové hmotnosti silničního vzorku s rejuvenátorem

Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zk. tělesa (vzorek dálnice s přidaným rejuvenátorem 8 % ANOVA)			
	teplota vody	19,7	°C
	hustota vody	0,9983	Mg/m ³
Vzorek DÁL LM1	m ₁ – suché těleso	1175,2	g
	m ₂ – nasycené těleso	678,3	g
	m ₃ – osušené těleso	1175,6	g
	r _{bssd} – obj. hmotnost	2,359	Mg/m ³
Vzorek DÁL LM2	m ₁ – suché těleso	1177,1	g
	m ₂ – nasycené těleso	686	g
	m ₃ – osušené těleso	1177,6	g
	r _{bssd} – obj. hmotnost	2,390	Mg/m ³
Vzorek DÁL LM3	m ₁ – suché těleso	1196,7	g
	m ₂ – nasycené těleso	684,6	g
	m ₃ – osušené těleso	1197	g
	r _{bssd} – obj. hmotnost	2,332	Mg/m ³
Vzorek DÁL LM4	m ₁ – suché těleso	1188,2	g
	m ₂ – nasycené těleso	688,5	g
	m ₃ – osušené těleso	1188,7	g
	r _{bssd} – obj. hmotnost	2,371	Mg/m ³

Tabulka 13 Stanovení objemové hmotnosti dálničního vzorku s rejuvenátorem

4.3.9 ZJIŠTĚNÍ MEZEROVITOSTI

Stanovení mezerovitosti navržených asfaltových směsí dle ČSN EN 12697-8.

K vypočtení mezerovitosti asfaltové směsi je potřeba vypočítat objemovou hmotnost zhutněné směsi pomocí vážení těles (popsána v kapitole 4.3.8). Dále je potřeba vypočítat maximální objemovou hmotnost asfaltové směsi pomocí pyknometrické zkoušky (popsána v kapitole 4.3.7). Dále se vypočítá mezerovitost podle vzorce:

$$V_m = \frac{\rho_{bssd} - \rho_{mv}}{\rho_{mv}}$$

ρ_{bssd} je objemová hmotnost zkušebního tělesa (Mg/m³)

V_m	je mezerovitost zhutněné asfaltové směsi (Mg/m^3)
ρ_{mv}	je maximální objemová hmotnost asfaltové směsi (Mg/m^3)

4.4 OPTIMALIZACE TEPLoty ZHUTŇOVÁNÍ

Optimalizace teploty zhutňování vychází ze známé skutečnosti uváděné v literatuře, že by se asfaltová směs obecně měla hutnit při viskozitě asfaltového pojiva ($0,28 \pm 0,03$) $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$. Za tímto účelem se provede stanovení závislosti viskozity asfaltového pojiva na teplotě v dynamickém smykovém reometru při postupném zvyšování teploty a současném měření viskozity. Z této závislosti se odvodí teplota hutnění pro oba zkoušené vzorky R-materiálu.

Pro silniční R-materiál byla odvozena teplota 165 °C a pro dálniční R-materiál byla odvozena teplota 168 °C.

4.5 SUMARIZACE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Na základě stanovení optimálního množství rejuvenátoru výpočtem podle programu ze známých hodnot penetrace a bodu měknutí a určením teploty hutnění z dynamického smykového reometru byla zhutněna tělesa ze silničního i dálničního R-materiálu. Mezerovitost nahutněných těles byla vyhodnocena u silničního R-materiálu 3,2 % a u dálničního R-materiálu 3,8 %. Tyto mezerovitosti jsou vyhovující pro ohrusné vrstvy podle normy ČSN 73 6121.

5 ZÁVĚR

U použitého silničního i dálničního R-materiálu bylo stanoveno optimální dávkování rejuvenátoru a teplota hutnění pro dané asfaltové pojivo. Výsledné mezerovitosti vyšly s ohledem na tyto dva parametry optimální pro obrušnou vrstvu.

Pokud by však byla použita jiná fréza, došlo by k jinému nadrcení kamenné kostry R-materiálu. Buď by byla nadrcená kostra jemnější nebo hrubší, což by mělo pak zásadní vliv na mezerovitost znovu vyráběné asfaltové směsi. Pro oba vzorky by zůstaly jak dávkování rejuvenátoru, tak i teploty hutnění shodné, protože by asfaltové pojivo mělo stejné vlastnosti, které by nebyly odlišným frézováním ovlivněny.

S ohledem na tuto skutečnost a nemožnost upravit čáru zrnitosti přidáním dalších frakcí kameniva, je tedy frézování klíčovou záležitostí celého procesu. Výsledná směs pak může být buď poddávkováná nebo předávkováná asfaltovým pojivem. Tento postup dle této bakalářské práce lze tedy doporučit pouze na nízce zatížených účelových komunikacích, kde nemusí být dodržena norma ČSN 73 6121.

6 SEZNAMY

Seznam použité literatury

- [1] VARAUS, M., P. HÝZL, P. MONDSCHNEIN, J. VALENTIN, R. PAZYNA, P. SVOBODA a D. MATOUŠEK. Recyklace asfaltových směsí v paralelním sušícím bubnu při použití rejuvenátorů a přísad na snížení teploty zpracování. *Silniční obzor*. 2014, **75**(2), 6.
- [2] KOTAS, V. *Využití R-materiálu do studených asfaltových směsí*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [3] RAGAB, Mohamed a Islam ABO EL-NAGA. Performance Assessment of Cold Asphalt Concrete Mixtures Containing Recycled Paving Materials. *Arabian Journal for Science and Engineering* [online]. [cit. 2022-03-28]. ISSN 2193-567X. Dostupné z: doi:10.1007/s13369-021-06101-9
- [4] LIN, Juntao, Lin HUO, Yue XIAO, Fang XU a Pan PAN. Long-term performance characteristics and interface microstructure of field cold recycled asphalt mixtures. *Construction and Building Materials* [online]. 2020, **259** [cit. 2022-03-28]. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120406
- [5] ČSN EN 12697-42: *Asfaltové směsi - Zkušební metody - Část 42: Obsah cizorodých látek v R-materiálu*. 1. Česká agentura pro standardizaci, 2021.
- [6] YU, Hai Chen, Li Jun SUN, Li Ping LIU a Lu JIA. Pavement Performance of Cold Recycling Sulphur Asphalt Mixture with Emulsified Asphalt. *Advanced Materials Research* [online]. 2011, **255-260**, 3287-3291 [cit. 2022-03-28]. ISSN 1662-8985. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.255-260.3287
- [7] Recyklace za studena na místě. In: Stavební technika [online]. 2007 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: https://www.stavebni-technika.cz/images/resized/2007/1024x800-fit/06_recyklace_1.jpg

- [8] MOON, Byungkyu, Ashkan BOZORGZAD, Hosin (David) LEE, Soo-Ahn KWON, Kyu-Dong JEONG a Nam-Joon CHO. Development of Warm In-Place Recycling Technique as an Eco-Friendly Asphalt Rehabilitation Method. *Infrastructures* [online]. 2021, 6(7) [cit. 2022-04-11]. ISSN 2412-3811. Dostupné z: doi:10.3390/infrastructures6070101
- [9] VARAUS, Michal. *Schémata kontinuální a šaržové obalovny*. In: Sdružení - silnice [online]. [cit. 2022-05-27]. Dostupné z: <https://www.sdruzeni-silnice.cz/>
- [10] Šaržová obalovna ABP 240-400 HRT. In: Ammann.com [online]. [cit. 2022-05-27]. Dostupné z: https://1n000s1caj2j2lxx39vxh8l5-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/universal-hrt-320-400_m-asphalt_oranienburg_deutschland_2013_cf022561.jpg
- [11] ČSN EN 12697-5, 73 6160. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Recyklace za studena na místě (znázornění recyklační kolony) [7]	16
Obrázek 3 Schéma kontinuální obalovny / Schéma šaržové obalovny [10]	17
Obrázek 2 Šaržová obalovna ABP 240-400 HRT [9]	18
Obrázek 4 Vážení dílčí úzké frakce kameniva / Vážení jemnozrnných frakcí	21
Obrázek 5 Zachycená jemnozrnná frakce při čištění vzorku v odstředivce / Vážení záchytného válce	24
Obrázek 6 Destilační zařízení / Naplněné formy pro zjištění dynamické viskozity a kroužku a kuličky	25
Obrázek 7 Penetrometr s naměřenou hodnotou / Detail doteku penetrační jehly na hladině asfaltového pojiva	26

Obrázek 8 Připravené soustrojí kroužek a kulička / Přerušení laserového paprsku.....	27
Obrázek 9 Výsledné teploty bodu měknutí zjištěné přístrojem.....	28
Obrázek 10 Dynamický smykový reometr / Připravený vzorek asfaltového pojiva.....	29
Obrázek 11 Grafické znázornění stoupající teploty v komoře DSR	30
Obrázek 12 Forma na tvorbu Marshallových těles / Rázové zhutňovací zařízení.....	32
Obrázek 13 Výsledná Marshallova tělesa.....	33
Obrázek 14 Vážení prázdného pyknometru s nástavcem / Vážení pyknometru s asfaltovou směsí a nástavcem.....	34
Obrázek 15 Pyknometr s asfaltovou směsí a perchlorem ve vodní lázni	35
Obrázek 16 Stanovení hmotnosti suchého tělesa / Stanovení hmotnosti nasyceného tělesa ve vodě.....	37
Obrázek 17 Stanovení hmotnosti povrchově osušeného nasyceného tělesa	37

Seznam tabulek

Tabulka 1 Sítový rozbor kameniva silničního vzorku	22
Tabulka 2 Sítový rozbor kameniva dálničního vzorku	23
Tabulka 3 a 4 Znázornění závislosti viskozity na teplotě	31
Tabulka 5 a 6 Znázornění závislosti viskozity na teplotě s omlazující přísadou	31
Tabulka 7 a 8 Zaznamenání hloubky vpichu penetrační jehly do asfaltového pojiva v penetračních jednotkách	26
Tabulka 9 a 10 Určují výsledné teploty bodu měknutí.....	28
Tabulka 11 Stanovení objemové hmotnosti silničního vzorku	39

Tabulka 12 Stanovení objemové hmotnosti silničního vzorku s rejuvenátorem	39
Tabulka 13 Stanovení objemové hmotnosti dálničního vzorku s rejuvenátorem.....	40

Seznam grafů

Graf 1 Sítový rozbor kameniva silničního vzorku	22
Graf 2 Sítový rozbor kameniva dálničního vzorku.....	23

7 PŘÍLOHY

Příloha 1 Protokol výpočtu dávkování pro dálniční vzorek s použitím 8 % rejuvenátoru ANOVA 1817. Dle <http://web.rejuvenator.eu>.

Příloha 2 Protokol výpočtu dávkování pro silniční vzorek s použitím 10 % rejuvenátoru ANOVA 1817. Dle <http://web.rejuvenator.eu>.



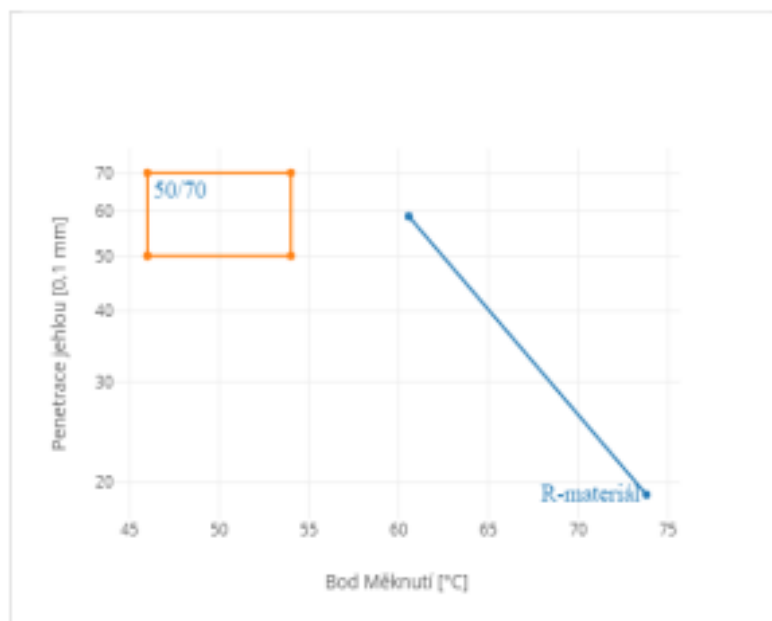
PROTOKOL

Zadané údaje

Cílový obsah pojiva	4.3 %
Množství R-materiálu	100.0 %
Množství pojiva v R-materiálu	4.3 %
Penetrace pojiva v R-materiálu	19 dmm
Bod měknutí pojiva v R-materiálu	73.8 °C

Vypočítané údaje

Zvolená oživovací přísada	ANOVA
Množství oživovací přísady	8.0 % na pojivo obsažené v R-materiálu
Hmotnost oživovací přísady	3.44 kg na tunu směsi
Hmotnost oživovací přísady	3.44 % na tunu R-materiálu
Potřebné množství nového pojiva	-3.4 kg na tunu směsi





PROTOKOL

Zadané údaje

Cílový obsah pojiva	5.7 %
Množství R-materiálu	100.0 %
Množství pojiva v R-materiálu	5.7 %
Penetrace pojiva v R-materiálu	16 dmm
Bod měknutí pojiva v R-materiálu	74.6 °C

Vypočítané údaje

Zvolená oživovací přísada	ANOVA
Množství oživovací přísady	10.0 % na pojivo obsažené v R-materiálu
Hmotnost oživovací přísady	5.72 kg na tunu směsi
Hmotnost oživovací přísady	5.72 % na tunu R-materiálu
Potřebné množství nového pojiva	-5.7 kg na tunu směsi

