



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

EMULZNÍ MIKROKOVERCE S POUŽITÍM R-MATERIÁLU

MICROSURFACING USING RECLAIMED ASPHAL PAVEMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Simona Kolesniková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠPERKA

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	Simona Kolesniková
Název	Emulzní mikrokoberce s použitím R-materiálu
Vedoucí práce	Ing. Pavel Šperka
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

Předané vzorky asfaltové emulze, cementu, kameniva a R-materiálu

Normy řady ČSN EN 12697 a řady ČSN EN 12274

Norma ČSN 73 6130 Stavba vozovek – Kalové vrstvy

Norma ČSN EN 12273 Kalové vrstvy – Specifikace

Technické a kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací TKP 28 - Mikrokoberce prováděné za studena

Vybrané bakalářské a diplomové práce z předchozích let zabývající se tématem emulzních mikrokoberců

Odborné články věnující se dané problematice

Firemní materiály

Internetové zdroje

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce se bude zabývat tématem použití R-materiálu v emulzních mikrokobercích.

V úvodní teoretické části provede studentka rešerši dostupné české a zahraniční odborné literatury věnující se dané problematice, tj. tématu emulzních mikrokoberců, využití

R-materiálu v emulzních kalových vrstvách, či v tenkých asfaltových vrstvách.

V praktické části studentka experimentálně ověří použití R-materiálu v emulzních mikrokobercích, kdy bude dávkovat R-materiál do směsi mikrokoberce a pomocí vhodně zvolených laboratorních zkoušek posoudí vlastnosti vzniklých směsí.

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).

Ing. Pavel Šperka
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Silniční síť v ČR je téměř 55 738 km a její údržba je dlouhodobě podfinancována. Je tedy zapotřebí hledat způsoby, jak prodloužit celkovou životnost komunikací. Emulzní mikrokoberce patří mezi emulzní kalové vrstvy a jsou tvořeny tenkou vrstvou ze směsi kameniva, asfaltové emulze, vody a regulátory štěpitelnosti (např. cement, vápno apod.). Jedná se o údržbovou technologii vozovek sloužící k prodloužení životnosti vozovek, a to o 5 až 9 let. S tím, jak postupně dochází ke snižování zásob kvalitního kameniva a k růstu cen vstupních surovin pro mikrokoberce, je třeba se zabývat možností využití R-materiálu do této technologie.

Práce se zabývá nahrazením přírodního kameniva v mikrokobercích R-materiálem, a to v množství 100 %. V rámci praktické části práce byla optimalizována receptura mikrokoberce s R-materiálem.

KLÍČOVÁ SLOVA

Emulzní mikrokoberec (EMK), R-materiál, asfaltová emulze, kamenivo, štěpitelnost, asfalt, spojovací postřik.

ABSTRACT

The road network in the Czech Republic is almost 55,738 km long and its maintenance has been underfunded for a long time. It is therefore necessary to look for ways to extend the overall service life of roads. Microsurfacing belongs to the emulsion slurry layers and are made up of a thin layer of a mixture of aggregate and modified asphalt emulsion. It is a pavement maintenance technology used to extend the service life of pavements by 5 to 9 years. As the supply of quality aggregate is gradually decreasing and the price of feedstock for microsurfacing is increasing, the possibility of incorporating R-material into this technology needs to be addressed.

This thesis deals with the replacement of natural aggregates in microsurface R-material in the amount of 100 %. In the framework of the work, the formulation of the microsurface with R-material was optimized.

KEYWORDS

Microsurfacing, Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), Asphalt Emulsion, Aggregates, breaking time,, Asphalt, Tack Coat.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Simona Kolesniková *Emulzní mikrokoberce s použitím R-materiálu*. Brno, 2022. 59 s., 4 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Pavel Šperka

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Emulzní mikrokoberce s použitím R-materiálu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 19. 5. 2022

Simona Kolesníková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Emulzní mikrokoberce s použitím R-materiálu* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 19. 5. 2022

Simona Kolesníková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Pavlu Šperkovi za cenné rady, poskytnutí všech potřebných materiálů a spoustu času, který se mnou strávil v laboratořích při praktické části této práce. Dále bych ráda poděkovala firmě Vialit Soběslav s.r.o. za odbornou konzultaci a poskytnutý materiál, všem pracovníkům laboratoře pozemních komunikací za pomoc při práci a také společnosti Jihomoravská obalovna s.r.o. za poskytnutí vzorku R-materiálu. Děkuji také rodině, příteli a přátelům za psychickou podporu po celou délku studia a zpracování této bakalářské práce.

OBSAH

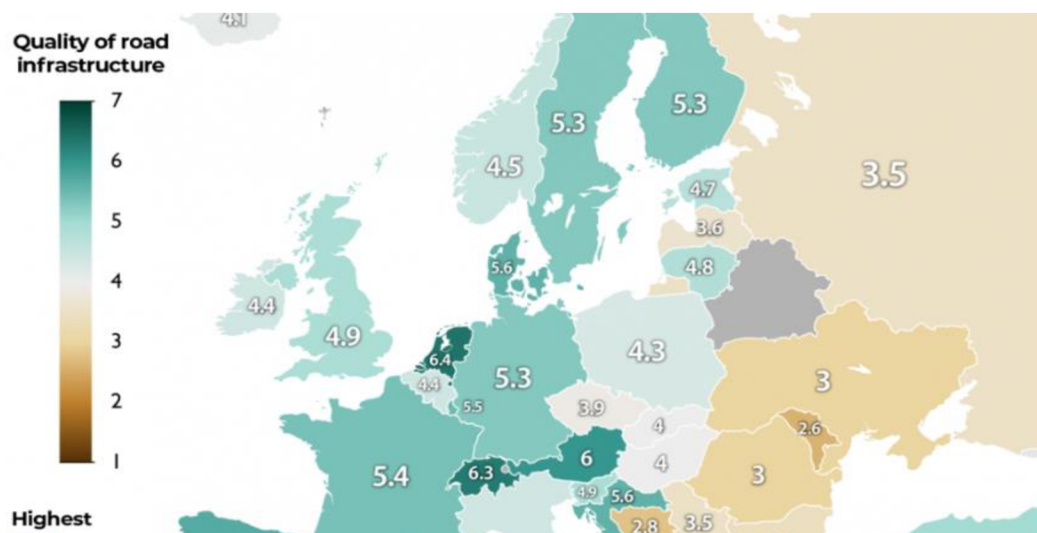
1	ÚVOD	11
2	CÍLE PRÁCE	12
3	TEORETICKÁ ČÁST.....	13
3.1	Základní terminologie	13
3.1.1	Kalové vrstvy	13
3.1.2	Emulzní mikrokoberec (EMK).....	13
3.1.3	Emulzní kalový zákryt (EKZ)	13
3.1.4	Emulzní mikrokryt	13
3.1.5	R-materiál	13
3.2	Vhodnost použití kalových vrstev.....	14
3.3	Využití R-materiálu v EMK	14
3.4	Funkce emulzních mikrokoberců	15
3.5	Složky emulzních mikrokoberců.....	15
3.6	Výroba emulzních mikrokoberců	15
3.7	Pokládka mikrokoberců	16
3.8	Asfaltová emulze	18
3.8.1	Dělení dle (23)	19
3.8.2	Značení.....	19
3.8.3	Složky asfaltové emulze	20
3.8.4	Výroba	20
3.9	Kamenivo	22
3.9.1	Dělení kameniva dle (22).....	22
3.9.2	Požadavky na kamenivo v EMK.....	23
3.10	Voda jako složka EMK	23
3.11	Regulátory	24
4	PRAKTICKÁ ČÁST – POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY.....	25
4.1	Odběr R-materiálu z obalovny	25
4.2	Získání požadované frakce	25
4.3	Sítový rozbor	26
4.3.1	Přístroje a pomůcky	26
4.3.2	Postup zkoušky	26
4.3.3	Vyhodnocení.....	28
4.4	Extrakce a destilace pojiva ze vzorku R-materiálu	29
4.4.1	Přístroje a pomůcky.....	29
4.4.2	Postup zkoušky	29

4.4.2.1	Extrakce asfaltu	29
4.4.2.2	Destilace asfaltu	30
4.4.3	Vyhodnocení	31
4.5	Stanovení penetrace jehlou	31
4.5.1	Přístroje a pomůcky	31
4.5.2	Postup zkoušky	32
4.5.3	Vyhodnocení	33
4.6	Stanovení bodu měknutí metodou kroužek a kulička	33
4.6.1	Přístroje a pomůcky	33
4.6.2	Postup zkoušky	33
4.6.3	Vyhodnocení	35
4.7	Optimalizace receptury	35
4.7.1	Přístroje a pomůcky	35
4.7.2	Postup	35
4.7.3	Vyhodnocení	36
5	PRAKTICKÁ ČÁST – POUŽITÉ MATERIÁLY	37
5.1	Asfaltová emulze	37
5.2	Kamenivo	37
5.3	R-materiál	39
5.4	Voda	41
5.5	Cement	41
6	PRAKTICKÁ ČÁST – VÝSLEDKY	42
6.1	Postup prací	42
6.2	I. etapa	42
6.3	II. etapa	43
6.4	III. etapa	47
6.5	Porovnání množství pojiva v EMK stanoveného po extrakci a teoretického množství pojiva v EMK stanoveného výpočtem	49
6.5.1	Výpočet teoretického množství pojiva v EMK	49
6.5.2	Porovnání výsledku matematického výpočtu a výsledku laboratorních zkoušek	50
6.6	Fotodokumentace připravených vzorků EMK	51
7	ZÁVĚR	53
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
9	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
10	SEZNAM TABULEK	58
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	59

12	SEZNAM PŘÍLOH.....	60
----	--------------------	----

1 ÚVOD

Údržba silnic je dlouhodobě podfinancována a postupně dochází k úbytku kvalitních zdrojů ropy a kameniva. Zvyšuje se cena vstupních surovin (asfaltu a přírodního kameniva) a energetická náročnost. Je tak zapotřebí hledat nové technologie. Mimo to, že není dostatek financí na nezbytnou opravu silnic, je všeobecně jejich stav velmi špatný. Dle Světového ekonomického fóra (WEF), který každý rok vydává takzvaný indikátor kvality silnic ve 141 státech světa, je Česká republika až na 76. příčce se známkou 3,9. Na obrázku 1 lze vidět, že všechny okolní státy mají vyšší kvalitu pozemních komunikací a ČR se svou kvalitou přibližuje spíše východu než západu, ke kterému se snaží v různých odvětvích směřovat. (1)



Obrázek 1: Výřez z mapky WEF, zdroj: tiskový servis WEF, zdroj: (33)

Emulzní mikrokoberce jsou údržbovou technologií, která se používá již desítky let. První kalové vrstvy se objevily zhruba před 100 lety a používají se dodnes, což jen dokazuje jejich funkčnost. Hlavním benefitem této technologie je prodloužení životnosti obrusné vrstvy vozovky o 5 až 9 let. Emulzní mikrokoberce jsou složeny z kameniva a modifikované asfaltové emulze. Technologie funguje na principu uzavření stávajícího povrchu a omezení, či zabránění šíření dalších poruch.



2 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této bakalářské práce je prozkoumat problematiku výroby emulzního mikrokoberce s použitím R-materiálu. Tímto tématem se zabývám z toho důvodu, že ve světě obecně dochází kvalitní kamenivo, tudíž je velmi žádoucí zpětně využívat suroviny na místo jejich skladování. Práce je rozdělena na dvě hlavní části, a to část teoretickou a praktickou.

V první, teoretické části, je cílem provést rešerši dostupné české a zahraniční odborné literatury věnující se dané problematice. Jsou to například normy, odborné články, bakalářské a diplomové práce z předchozích let, zabývající se kalovými vrstvami obecně, či emulzními mikrokoberci a jejich jednotlivými složkami, technologií výroby a pokládky.

V rámci druhé praktické části, je hlavním cílem ověřit použití R-materiálu v emulzních mikrokobercích, provést optimalizaci receptury emulzního mikrokoberce s použitím 100% podílu R-materiálu a posouzením využitelnosti v praxi. Důležitou součástí práce je stanovení množství vyextrahovaného pojiva z připravených směsí emulzních mikrokoberců a porovnání těchto hodnot s hodnotami množství pojiva stanovených dle výpočtů.



3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Základní terminologie

3.1.1 Kalové vrstvy

Povrchová úprava ze směsi pro kalové vrstvy, která je smíchána a položena na místě. Kalová vrstva jako výrobek může sestávat z jedné nebo více vrstev. (2)

3.1.2 Emulzní mikrokoberec (EMK)

Kalová vrstva, která je provedena při použití modifikované asfaltové kationativní emulze a minimálně dvou frakcí kameniva (velikost zrna max. $D = 11$ mm); tloušťka provedené úpravy zpravidla nepřesahuje maximální velikost zrna o více než 25 %. (2)

3.1.3 Emulzní kalový zákryt (EKZ)

Tenká kalová vrstva, která je provedena při použití nemodifikované asfaltové kationativní emulze a kameniva s velikostí zrna $D \leq 4$ mm; tloušťka provedené úpravy zpravidla nepřesahuje maximální velikost zrna o více než 25 %. (2) (3)

3.1.4 Emulzní mikrokryt

Kalová vrstva, která je provedena z emulzního nátěru podle ČSN 73 6129 jako spodní vrstvy a emulzního mikrokoberce jako vrchní vrstvy. EMK může být proveden jako jednovrstvý nebo dvouvrstvý v závislosti na celkovém stavu původního podkladu. (2)

3.1.5 R-materiál

Je směs, která se získává odfrézováním anebo drcením povrchu stávající asfaltové vozovky. Může jím být i materiál z nadbytečné výroby. Pokud je materiál je materiál frézován, pak je již rozdrcený, pokud se bagruje, získávají se kry, které je potřeba ještě rozdrtit na požadovanou frakci. Nejčastěji je to 0/11 nebo 0/8. (4)



3.2 Vhodnost použití kalových vrstev

Kalové vrstvy je vhodné používat, pokud chceme obnovit strukturu povrchu tím, že se vytvoří nový obrusný povrch s lepšími protismykovými vlastnostmi. Dále ke zlepšení hydroizolačních vlastností, opravě zvlnění a zajištění nového povrchu tam, kde hmotnostní omezení vylučují použití těžších materiálů, např.: na mostních konstrukcích. Další možností použití těchto vrstev je pro zajištění nového povrchu tam, kde je problémem výškové omezení, tj. pod přejezdy. Čerstvě položenou kalovou vrstvu lze vidět na obrázku číslo 2. (3) (4)



Obrázek 2: Čerstvě položený mikrokoberec 0/5, začátek štěpení, zdroj: (13)

3.3 Využití R-materiálu v EMK

Dle aktuálního trendu se i v oboru tenkovrstvých emulzních úprav uvažuje o využití recyklovaného materiálu. Několik výzkumů se touto problematikou již zabývalo (Poursoltani and Hesami, 2018a; ROBATI et al., 2013a; Saghafi et al., 2019a). V rámci výzkumů byly na těchto směsích prováděny zkoušky otěru za mokra, zatížení kolem, soudržnosti za mokra a třecí zkouška a bylo zjištěno, že výsledky jsou více než uspokojivé. Použití R-materiálu snížilo celkové náklady na výsledný materiál přibližně o 14 % a materiál dosahuje celkově lepších vlastností. (7) (8) (9) (10)



3.4 Funkce emulzních mikrokoberců

Jako každá technologie, mají i emulzní mikrokoberce jak výhody, tak nevýhody. Všeobecně lze říci, že tato technologie slouží ke konzervaci a údržbě vozovky. Zajišťují lepší odolnost proti smyku, oděru, vodě a vyšší trvanlivost. Nabízí také lepší estetické vlastnosti vozovky, díky nimž vznikne jednotný povrch.

Velkou výhodou pokládky kalových vrstev bezesporu je, že dochází pouze k omezení silničního provozu a není třeba úplná dlouhodobá uzavírka komunikace. U EMK je možné provoz znovu obnovit již po 20 minutách, případně dle dohody mezi zhotovitelem a objednatelem, nejpozději však po 1 hodině. U EKZ je obnovení možné po uplynutí 1 hodiny, případně dle jiné dohody mezi zhotovitelem a objednatelem, nejpozději však po 4 hodinách. Další výhodou EMK je tenká vrstva úprav nevyžadující stavební povolení nebo ohlášení stavby, nízká energetická náročnost, prodloužení životnosti obrusné vrstvy o 5 až 9 let za nízkou cenu, dále úspora přírodních zdrojů, oproti rekonstrukci například celé obrusné vrstvy.

Mezi nevýhody emulzního mikrokoberce patří především klimatické omezení pokládky – tj. teplota ovzduší musí být vyšší než 10 °C, což znamená pokládka cca od poloviny května do poloviny září. Dalšími nevýhodou je náchylnost na čistotu povrchu vozovky, mikrokoberce nezvyšuje únosnost komunikace a nelze ho použít na lokální úpravy. Je nutné jej po položení zajíždět, což znamená vyšší hlučnost, a to může vyvolat stížnosti od uživatelů komunikace. (3) (4)

3.5 Složky emulzních mikrokoberců

Emulzní mikrokoberce se vyrábí z asfaltové emulze, kameniva, záměsové vody a regulátorů, jako je například cement, vápno aj. Jednotlivé komponenty budou podrobněji rozebrány v dalších kapitolách.

3.6 Výroba emulzních mikrokoberců

K výrobě mikrokoberce jako takového dochází až na samotné stavbě. Na předem určené místo se dopraví všechny požadované komponenty, které se vpraví do speciálního kladecího zařízení pokladače, které je schopné



dávkovat jednotlivé složky dle schválené receptury rovnoměrně obalit všechna zrna kamení asfaltovou emulzí. Nedochozí tak k segregaci jednotlivých složek mikrokoberce. Tekuté složky se dávkují pomocí čerpadel, dávkování kameniva je řízeno pomocí pásového dopravníku. Základem úspěšného provedení je právě přesné dávkování jednotlivých složek. Dávkování jednotlivých složek musí být známé již před zahájením pokládky, a zjišťuje se pomocí zkoušky, která je součástí výrobního předpisu. Množství záměsové vody a stabilizátorů musíme přizpůsobit aktuálním podmínkám na stavbě, mají totiž vliv na dobu zpracovatelnosti a dobu konsolidace kalové vrstvy. Regulátor, kterým je například cement, je dávkován přímo na kamenivo ještě před tím, než je vloženo do míchačky. V míchačce se směs smíchá s vodou a následně s asfaltovou emulzí. (6) (7) (8)

Každý výrobce má recepturu mikrokoberce optimalizovanou tak, aby se směs co nejlépe pokládala, měla správnou dobu štěpení a byla dobře zpracovatelná. Dle normy ČSN 73 6130 (2) má být množství záměsové vody cca 10 % hmotnosti suchého kameniva. Obsah zbytkového asfaltu po vyštěpení kationativní asfaltové emulze činí 6,0 % – 8,5 % hmotnosti kameniva, v příp. EMK 0/4 nebo 0/5 5,0 % - 7,5 % hmotnosti kameniva v příp. EMK 0/8 a 4,5 – 7,0 % hmotnosti v příp. EMK 0/11. Třída štěpitelnosti emulze by měla být 6 až 8 a počátek jejího štěpení po nanesení kalové vrstvy 90 až 300 sekund. Při pokládce jako takové je teplota emulze v nádrži kladeče obvykle mezi 20 °C a 60 °C, kdy lze obecně konstatovat, že čím vyšší teplota je, tím rychleji směs štěpí. (5)

3.7 Pokládka mikrokoberců

Mikrokoberec se může pokládat jako jednovrstvý, častěji se však pokládá jako dvouvrstvý. Mikrokoberec s použitím R-materiálu je třeba položit jako dvouvrstvý, kdy spodní vrstva je právě s R-materiálem a obvykle má frakci 0/5 a druhá, vrchní vrstva je frakce 0/8 z již normálního kameniva.

Při pokládce kalové vrstvy by dle ČSN 73 6130 (2) neměla být teplota nižší než 10 °C. Nejvhodnější je teplota mezi 15 °C až 25 °C. Vyšší teplota se nedoporučuje, protože již při teplotě vzduchu 30 °C má povrch teplotu cca 50 °C, čímž dochází k velmi rychlému štěpení právě položené směsi, což je nežádoucí.



Nejdůležitějším faktorem v otázce životnosti kalových vrstev je dokonalé spojení s podkladem a proniknutí směsi do všech míst povrchu, čímž docílíme dokonalým očištěním povrchu, například mechanickým zametačem nebo tlakovým ofukovacím zařízením. Pokud však povrch je znečištěn jílovými nebo hlinitými nálepy, je třeba tyto nálepy odstranit ručními škrabkami. Dále musí být podklad dostatečně pevný, rovný, únosný a musí být odstraněno veškeré vodorovné značení, ošetřeny lokální poruchy, trhliny a výtluky dle TP 96 (11) a TP 115 (12). Na dokonale očištěný povrch je zapotřebí nanést spojovací postřík z modifikované emulze, nejčastěji v dávkování $0,10 \text{ kg/m}^2 - 0,25 \text{ kg/m}^2$, který musí být dokonale vyštěpený, aby se mohlo začít s pokládkou kalové vrstvy. Vynechání spojovacího postříku zkrátí životnost EMK cca na polovinu. Vliv na kvalitu kalové vrstvy má také zařízení jako takové, jeho kalibrace a technický stav a vyškolená a kvalifikovaná obsluha, která dodržuje dané postupy. (10) (11)

Šířka pokládky kalové vrstvy odpovídá šířce jízdního pruhu. Začátek a směr pokládky závisí především na orientaci stoupání, poloze skladovaného materiálu, intenzitě dopravy a na celkové šířce opravovaného úseku. Vždy je lepší provádět vrstvy po směru stoupání. Pojezdová rychlost kladeče musí být konstantní, závisí na drsnosti povrchu a rovinatosti úseku. Obecně mají drsnější povrchy větší spotřebu kalu než povrchy hladké, proto je pojezdová rychlost nižší. Rychlost pojezdu kladeče bývá cca 25 až 30 m/min. (12) (16)

Před zahájením vlastní pokládky je vždy zapotřebí ověřit recepturu na ručně vyrobeném vzorku, který musí splnit požadavky na rychlost štěpení a dobu konsolidace. Po úspěšném ověření se na kladeči zvolí vhodný program a operátor pak již ručně ovládá pouze množství záměsové vody nebo cementu, ale pouze v desetinách procent v závislosti na aktuálních klimatických podmínkách, teplotě povrchu atd. Vysoká kvalita směsi je zajištěna právě automatizací procesu. V průběhu je potřeba kontrolovat a doplňovat jednotlivé komponenty, sledovat funkčnost míchačky, dávkování a celkový vzhled již hotové kladené kalové vrstvy.



Na kladeční liště, ani v míchačce přístroje, nikdy nesmí dojít k vyštěpení směsi. Celý stroj by se tím zanesl a práce by musely být okamžitě zastaveny. Promíchaná směs se tedy co nejrychleji musí dopravit výpustním otvorem míchačky do kladečního rámu, čemuž napomáhají příčně umístěné dvě řady šneků, které směs domíchávají a rozprostírají na celou šíři rámu, z kterého je směs okamžitě položena na podklad. Na rámu je možné pomocí nastavitelné štěrbiny měnit tloušťku kalové vrstvy. Soupravu pro pokládku můžete vidět na obrázku 3. (7) (11)



Obrázek 3: Souprava pro pokládku mikrokoberce společnosti Vialit Soběslav, zdroj: (13)

3.8 Asfaltová emulze

Obecně lze o asfaltové emulzi (obr. 4) říct, že je to disperze asfaltu ve vodě.



Obrázek 4: Ukázka asfaltové emulze



3.8.1 Dělení dle (23)

Základní typy:

- anionaktivní,
- kationaktivní – řídí se normou ČSN EN 13808. (16)

Dle rychlosti štěpení:

- rychloštěpné,
- středněštěpné,
- pomaluštěpné.

Dle modifikace:

- modifikované (výroba z modifikovaného asfaltu, nebo použití nemodifikovaného asfaltu a přidáním latexu do vodní fáze, čímž se emulze modifikuje),
- nemodifikované.

Dle použití:

- emulze pro spojovací postřik,
- emulze pro infiltrační postřik,
- emulze pro regenerační postřik,
- emulze pro nátěr,
- emulze pro tryskovou metodu,
- emulze pro emulzní mikrokoberec,
- emulze pro emulzní mikrokryt,
- emulze pro emulzní asfaltovou směs,
- emulze pro recyklaci za studena.

Pozn.: Tyto emulze se liší obsahem asfaltu a účelem použití. Bližší specifikace se nachází v normě ČSN 73 6132. (6)

3.8.2 Značení

Kationaktivní asfaltové emulze se klasifikují a označují dle ČSN EN 13 808. Na prvním místě je písmeno C, které vyjadřuje polaritu emulze, tedy kationaktivní. Na druhé a třetí pozici je číslo, které udává obsah pojiva v procentech. Na čtvrté pozici je označení druhu pojiva (B – silniční asfalt, P – přídavek polymerů, F – přídavek více než 3 % fluxovadla). Na páté pozici se nachází třída chování při štěpení, která se značí symboly 2 až 10. Jako volitelnou značku lze použít zkrácené označení základního asfaltového



pojiva. Jako příklad uvedu emulzi C 65 BP5, což je kationaktivní emulze s 65 % silničního asfaltu polymerem modifikované, třída štěpení 5, což je emulze pro EMK.

3.8.3 Složky asfaltové emulze

Asfalt

Může být buďto ropný, který vzniká destilací ropy, anebo přírodní, který se těží například u jezera Trinidad, nebo v Albánii. Je to koloidní směs vysoce molekulárních uhlovodíků, která obsahuje dvě složky. Tekutá složka, tzv. maltény, obsahuje saturáty, aromáty a pryskyřice. Pevná složka, tzv. asfaltény je vysoce polární makromolekulární látka. Pro výrobu emulze se používají asfalty modifikované, z kterých vzniká emulze modifikovaná anebo asfalty nemodifikované.

Voda

Musí splňovat požadavky pro pitnou vodu, což znamená, že nesmí obsahovat žádné cizorodé organické látky.

Emulgátory

Nejčastěji se využívají aminy, které ovlivňují manipulační dobu a dobu skladování. Zabraňují samovolnému spojování částíček asfaltu v emulzi a jejímu vyštěpení.

Kyseliny

Při výrobě asfaltové emulze se používá kyselina chlorovodíková, která se přimíchává do vodní fáze, společně s chloridem vápenatým a v případě potřeby i s latexem, který vytvoří z nemodifikované emulze modifikovanou.

3.8.4 Výroba

Základními komponenty pro výrobu jsou již výše zmíněný asfalt, voda, emulgátory, kyselina chlorovodíková, chlorid vápenatý, popřípadě latex, nebo fluxovadla.

Hlavními komponenty jsou vodní fáze a asfalt. Vodní fáze se připravuje tak, že se do nádrže s vodou o teplotě 70 °C dávkuje za stálého míchání emulgátory a kyseliny. V případě požadavku modifikované asfaltové emulze z nemodifikovaného pojiva se do této fáze přimíchává latex. Asfalt o teplotě 130 °C je v oddělené nádrži. Oba hlavní komponenty se dávkuje



pomocí čerpadel v předem předepsaných poměrech do koloidního mlýnu (obr. 5). S dnešními koloidními mlýny je možné vyprodukovat 45 až 50 tun emulze/hodinu. V koloidním mlýnu dochází k vtlačování asfaltu do štěrbin, o rozměru setin milimetru, mezi rotorem a statorem a působení velkých otáček. Velikost štěrbin je nastavitelná a záleží, jak moc velké částičky asfaltu ve výsledné směsi chceme. Na částech asfaltu ulpívá vrstva emulgátoru, která je překryta vrstvou vázané vody. (7)

Po promíchání z mlýnu vychází již hotová asfaltová emulze o teplotě cca 90 °C. Dle normy ČSN 73 6130 musí obsahovat minimálně 58 % asfaltu. Tato směs putuje vyhřívaným potrubím do skladovacích nádrží, kde dochází k jejímu pozvolnému ochlazení. Zde dochází zhruba každé dvě hodiny k promíchávání po dobu patnácti minut. Skladovatelnost závisí na velikosti částic, čím menší částice jsou, tím déle se emulze může skladovat.



Obrázek 5: Koloidní mlýn, zdroj: (13)



3.9 Kamenivo

Kamenivo (obr. 6) obecně je zrnitý materiál používaný ve stavebnictví. Kamenivo použité v kalových vrstvách musí splňovat požadavky normy ČSN EN 13043 – Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch a ČSN 73 6130. (4) (2)



Obrázek 6: Použité kamenivo frakce 0/5

3.9.1 Dělení kameniva dle (22)

Dle objemové hmotnosti:

- pórovité $<2000 \text{ kg/m}^3$,
- hutné $2000\text{--}3000 \text{ kg/m}^3$,
- těžké $>3000 \text{ kg/m}^3$.

Dle původu:

- přírodní – těžené nebo drcené,
- umělé – druhotná surovina např. struska, keramzit,
- recyklované – již dříve použité.

Dle vzniku:

- těžené – vznik rozpadem horniny,
- těžené předrcené,
- drcené – drcením kusového lomového kamene.



3.9.2 Požadavky na kamenivo v EMK

Kvalita kameniva musí být opravdu vysoká, protože na něm závisí rychlost štěpení výsledné kalové vrstvy. Při použití pouze těženeho kameniva je doba štěpení velmi krátká, proto se pro výrobu EMK používá převážně drcené kamenivo, popřípadě kombinace drceného a těženeho. Proto je zapotřebí zjistit:

1. Frakci kameniva:
 - DK (drcené kamenivo) – 0/2, 0/4,0/5,
 - HDK (hrubé drcené kamenivo) – 0/2, 0/4, 0/5, 2/4, 2/5, 4/8, 5/8, 8/11.
2. Zrnitost a obsah jemných částic – má vliv na mezerovitost, vodotěsnost a životnost výsledné vrstvy.
3. Tvarový index.
4. Slučitelnost s danou emulzí.
5. Čistotu – vysoký obsah prachovitých a jílových částic snižuje slučitelnost s emulzí.
6. Stáří – mladší kamenivo má lepší reaktivitu (povrchový náboj).

Dle normy ČSN EN 13043 jsou určeny kvalitativní parametry kameniva, které musí každý dodavatel kameniva dodržovat. Jsou uvedeny v tabulce č.1.

Tabulka 1: Kvalitativní parametry kameniva dle ČSN EN 13043 (21)

Druh kameniva podle ČSN EN 13043	Vlastnost	Požadavek
DK	Zrnitost $D \leq 2$	$G_F 85$
	Obsah jemných částic f	f_{16}
	Kvalita jemných částic	$MB_F 10$
HDK	Zrnitost $D > 2$	$G_C 85/15$ $G_A 90$
	Tvarový index $D \leq 11$	$S/30$
	Obsah jemných částic f	$f_{0,5}$
	PSV deklar. Pro $D \leq 8$ mm	≥ 50
	PSV deklar pro $8 \text{ mm} \leq D \leq 11$ mm	≥ 50

3.10 Voda jako složka EMK

Velmi důležitou složkou při výrobě emulzního mikrokoberce je právě voda. Požadavky na její kvalitu jsou stejné, jako na vodu pitnou. Nesmí obsahovat organické látky nebo hlinité složky. Do výsledné směsi se dostává



s asfaltovou emulzí, kde tvoří zhruba 35 % celkového obsahu, dále jako přirozená vlhkost kameniva, což obvykle bývá 5 % až 10 % celkové hmotnosti kameniva, a platí, že čím vlhčí kamenivo je, tím pomaleji dochází ke štěpení, a nakonec voda dávkovaná přímo do míchacího zařízení, kterou se zajišťuje správná konzistence směsi. Obvykle se do míchačky přidává 1 % až 10 % vody, záleží na počáteční vlhkosti kameniva.

3.11 Regulátory

Regulátory se používají pro ovlivnění doby štěpení – zpomalení nebo zrychlení podle aktuální teploty na stavbě, popřípadě úpravu technologických vlastností. (10)

K regulaci délky štěpení se nejčastěji využívá portlandský cement, který absorbuje vodu obsaženou v emulzi a tím zkracuje dobu štěpení hašené vápno anebo popílek. Cement může dobu štěpení snížit, ale i zvýšit. Záleží na jeho složení, dále na druhu asfaltové emulze a na kamenivu.

K úpravě technologických vlastností se používá například vápenný hydrát, který zlepšuje stabilitu a trvanlivost kameniva s obsahem jílových částic, zvyšuje životnost směsi a prodlužuje proces štěpení.



4 PRAKTICKÁ ČÁST – POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY

Praktická část této bakalářské práce se zaměřuje na využití R-materiálu v emulzních mikrokobercích. Nejprve na jeho dávkování do směsi mikrokoberce a posléze se pomocí vhodně zvolených laboratorních zkoušek posuzují vlastnosti vzniklých směsí.

4.1 Odběr R-materiálu z obalovny

Prvním úkolem pro zpracování praktické části bylo získání R-materiálu z areálu obalovny v Rajhradcích. Vytěžený R-materiál byl uložen v zastřešené hale s označením R-materiál RA 0/11 – T2. Provedla jsem homogenizaci odběrového materiálu a rozdělila ho do připravených přepravek (obr. 7) přibližně po 20 kg – 30 kg. Získaný materiál byl dovezen do školní laboratoře.



Obrázek 7: Odběr R-materiálu

4.2 Získání požadované frakce

Pro namíchání požadovaných EMK byla potřeba správná frakce dovezeného R-materiálu. Proto jsem ručně přesila cca 10 kg materiálu o frakci 0/11 přes síto 5,6 mm, čímž vznikla frakce 0/6 (obr. 8).



Obrázek 8: Získání požadované frakce R-materiálu pro EMK

4.3 Sítový rozbor

Metoda sítového rozboru ke stanovení zrnitosti kameniva se řídí evropskou normou ČSN EN 933-1 (24). Cílem zkoušky je roztrždit námi zvolený materiál na různé frakce pomocí sady sít se sestupnou velikostí ok. Poté se provádí porovnání dílčích hmotností na jednotlivých sítích s hmotností celkovou a z toho se zpracovává křivka zrnitosti kameniva.

4.3.1 Přístroje a pomůcky

K provedení sítového rozboru jsou potřeba: zkušební síta s otvory podle EN 993-2 a vyhovující požadavkům ISO 3310-1 a ISO 3310-2, pevně líčující víko a dno sít, prosévací přístroj, sušárna s ventilací, prací zařízení, váhy s přesností $\pm 0,1$ % hmotnosti zkušební navážky, nádoby, štětce. (3)

4.3.2 Postup zkoušky

Po homogenizaci a kvartaci jsem odebrala zkušební vzorek R-materiálu 0/6 a kameniva frakce 0/5, který jsem rovnoměrně rozprostřela do pekáče a dala do horkovzdušné sušárny. Kamenivo se sušilo při teplotě (110 ± 5) °C do ustálené hmotnosti a R-materiál při teplotě pouze 50 °C do ustálené hmotnosti, a to z toho důvodu, aby nedošlo k rozpuštění asfaltu obsaženého v R-materiálu.



Po opětovném provedení homogenizace, kvartace a dělení jsem odebrala zkušební navážku, jejíž minimální hmotnost závisí na velikosti zrn a řídí se normovanou tabulkou 2. Je zapotřebí si tuto odebranou hmotnost zapsat, bude potřeba v následujících výpočtech.

Tabulka 2: Minimální velikost zkušebních navážek, zdroj: (28)

Velikost kameniva D (maximum) [mm]	Hmotnost kameniva [kg]	Objem pórovitého kameniva [l]
90	80	-
32	10	2,1
16	2,6	1,7
8	0,6	0,8
≤ 4	0,2	0,3

Pomocí dvou zkušebních sít, jednoho o velikosti 0,063 mm a druhého, na něj umístěného o velikosti 2 mm, které slouží jako ochranné, jsem provedla tzv. praní vzorku (obr. 9). Zkušební navážku jsem vysypala na větší síto a postupně kamenivo proplachovala až do té doby, dokud ze spodního síta nevytýká čirá voda. Přitom je třeba si dávat pozor na zanesení spodního síta vlivem velkého množství jemných částic, v případě nutnosti tyto částice promíchat stěrkou na síti, pro umožnění průtoku vody skrz. Po řádném vyprání vzorku jsem vložila zůstatky na sítích opět do horkovzdušné sušárny (obr. 10), tentokrát pouze na 45 °C, aby nedošlo k poškození povrchu sít.



Obrázek 10: Praní vzorku kameniva



Po vysušení vzorků jsem si zvažila jejich hmotnost a následuje prosévání, na které je třeba sestavit prosévací přístroj (obr. 11). Na spodek jsem vložila dno a na něj, do sloupce, skládala vzestupně podle velikosti síta od nejmenšího, tj. 0,063 mm po největší. Zkušební vzorek jsem nasypala na horní síto a umístila na něj pevně líčující víko, které jsem zašroubovala pomocí velkých matek. Nastavila otáčky, čas a přístroj zapnula. V průběhu prosévání jsem sloupcem trásla i manuálně, abych dosáhla nejlepšího možného prosetí. Po ukončení cyklu se jednotlivá síta postupně sundávají, vždy je u nich provedeno ještě ruční prosetí a až poté zvážení materiálu, který na nich ulpěl.



Obrázek 12: Prosévací přístroj



Obrázek 11: Sušárna s ventilací

4.3.3 Vyhodnocení

Zapíšou se všechny hmotnosti z jednotlivých sít, hmotnost vysušeného vzorku před praním a vysušeného vzorku po proprání. Vypočte se procentuální hmotnostní propad na jednotlivých sítích vůči původnímu vysušenému, nepropranému vzorku, dle níže uvedeného vzorce, vyjma částic menších, než 0,063 mm. Z těchto získaných hodnot se následně sestaví křivka zrnitosti.

$$\text{propad} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

kde m_1 je hmotnost vysušeného, nepropraného vzorku, v kg,
 m_2 je hmotnost vysušeného zůstatku na sítě, v kg.



4.4 Extrakce a destilace pojiva ze vzorku R-materiálu

Asfalt se oddělí ze vzorku rozpouštěním perchloretylenu. Po odstranění nerozpouštěných pevných částí z asfaltového roztoku se z něho asfalt znovu získává vakuovou destilací pomocí rotačního vakuového destilačního zařízení. Asfalt nesmí být v rozpouštědle déle než 24 hodin. (4)

4.4.1 Přístroje a pomůcky

K provedení extrakce pojiva a jeho znovuzískání jsou zapotřebí tyto pomůcky: plechovka s víkem, odvětrávaná sušárna, zařízení pro extrakci rozpuštěného asfaltu (vč. odstředivky), separační papír pro zachycení fileru v patroně, rozpouštědlo – perchloretylen, váhy s přesností $\pm 0,1$ g, destilační přístroj (rotační vakuové zařízení) – jímací a tlakové destilační baňky, glycerinová lázeň, vakuová vývěva, manometry, vazelína, nádoba na vdestilovaný asfalt.

4.4.2 Postup zkoušky

4.4.2.1 Extrakce asfaltu

Do plechovky s víkem vložíme vhodné množství vysušeného R-materiálu, které následně zalijeme rozpouštědlem – perchloretylenem nebo jiným vhodným, jak uvádí norma. Hmotnost vzorku (m_1) musí být taková, aby po destilaci bylo mezi 120 g a 150 g zpětně získaného pojiva. Obsah nádoby mícháme až do té doby, dokud není všechn asfalt viditelně oddělen od kameniva. Poté se nechá vzorek ještě minimálně 10 minut odstát.

Součástí extrakčního přístroje (obr. 12) je odstředivka, jejíž součástí je tzv. patrona, kterou vyjmeme, řádně vyčistíme, vložíme do ní separační papír, který nám posléze zachytí filer a zvážíme ji, tím dostáváme hmotnost (m_2). Připravíme si nádobu, do které budeme pomocí kohoutu vytáčet přečištěný asfaltový roztok. Na trychtýř, po kterém stéká rozpuštěný asfalt, umístíme síto o velikosti 0,063 mm a na něj síto velikosti 2 mm, na těch dochází k zadržení nerozpustného materiálu – kameniva.

Do většího ze sít nalijeme obsah plechovky, ve které je kamenivo oddělené od asfaltového pojiva a plechovku nad sítím řádně vypláchneme trichloretylenem, abychom získali veškeré zbytky asfaltové směsi, která ulpěla na stěnách nádoby. Obsah síta raději znovu přelijeme rozpouštědlem



a zapneme odstředivku, která nám oddělí asfaltový roztok od fileru. Během toho opět prolíváme obsah síta rozpouštědlem, abychom si byli jisti, že došlo k dokonalému očištění kameniva od asfaltu.

Po odstředění umístíme kamenivo včetně sít do sušárny a s nimi i nádobu s filerem. Sušíme při teplotě (110 ± 5) °C. Po vysušení zvážíme nádobu s filerem, včetně separačního papíru, hmotnost (m_3) a kamenivo z obou sít dohromady, hmotnost (m_4).



Obrázek 13: Extrakční zařízení

4.4.2.2 Destilace asfaltu

Chladičem destilačního rotačního vakuového přístroje (obr. 13) necháme protékat studenou vodu. Zábrusové spoje destilační baňky se potřou vazelínou, to stejné u baňky jímací, a ponoří se do olejové lázně o teplotě (90 ± 5) °C, kde se nechá rotovat rychlostí (75 ± 15) otáček za minutu. Tlak v zařízení nastavíme, snížíme, na 40 kPa.

Otevřením nasávacího kohoutu se roztok asfaltu přemístí z nádoby do destilační baňky. Roztok je nasáván po částech, v baňce ho nesmí být více než 400 ml. Do jímací baňky se postupně oddestilovává perchloretylen. Po nasátí všeho asfaltového roztoku do destilační baňky se zvýší teplota olejové lázně na (160 ± 5) °C a tlak se sníží na 2 kPa. V destilaci se pokračuje do té doby, dokud se na povrchu asfaltu v destilační baňce nepřestanou tvořit bublinky. Poté je destilace hotová a získané asfaltové pojivo lze dále využít pro vhodně zvolené laboratorní zkoušky.

4.4.3 Vyhodnocení

Je zapotřebí zapsat si všechny výše zmíněné hmotnosti (m_1 , m_2 , m_3 , m_4), aby bylo možné vypočítat množství obsaženého asfaltového pojiva ve vzorku dle následujícího vzorce:

$$a = 1 - \frac{m_4 + (m_3 - m_2)}{m_1}$$

kde a je obsah asfaltového pojiva obsaženého v původní směsi, v %, m_1 je hmotnost vysušeného zkušební R-materiálu, v g, m_2 je hm. válcové nádoby, patrony, vč. separačního papíru, v g, m_3 je hmotnost patrony, vč. separačního papíru a fileru, v g, m_4 je hmotnost vysušeného kameniva získaného na sítích, v g.



Obrázek 15: Destilační zařízení

4.5 Stanovení penetrace jehlou

Stanovení penetrace jehlou se provádí dle evropské normy ČSN EN 1426 (26). Cílem zkoušky je zjistit průnik normalizované jehly do vzorku asfaltového pojiva, vytemperovaného na 25 °C, na který působí po dobu 5 sekund zatížení 100 g. Velikost průniku se poté udává v penetračních jednotkách – p. j. nebo v desetínách milimetrů. 1 p.j. = 0,1 mm.

4.5.1 Přístroje a pomůcky

Ke stanovení penetrace jehlou jsou zapotřebí tyto pomůcky: penetrometr (obr. 14), penetrační jehla, vodní lázeň s konstantní teplotou s tolerancí 0,15 °C,



teploměr, válcová nádoba na vzorek asfaltu, jejíž rozměry závisí na předpokládané penetraci asfaltu (do 160 p.j. je vnitřní hloubka 35 mm a vnitřní průměr 55 mm, nad 160 p.j. je vnitřní hloubka 45 mm a vnitřní průměr 70 mm)

4.5.2 Postup zkoušky

K přichystání zkušební vzorku je potřeba asfalt nahřát na teplotu ne větší než 100 °C nad předpokládaný bod měknutí, poté se nalije do vyčištěné zkušební nádoby, nejméně o 10 mm výš, než je předpokládaná hloubka vniknutí jehly. Po naplnění se zkušební kelímek zavře. Po vychladnutí se vzorek temperuje 60-90 minut ve vodní lázni, na teplotu (25 ± 15) °C.

Před samotnou zkouškou musí dojít ke kontrole jehly a jejího vodícího zařízení. Jehla se očistí vhodným rozpouštědlem, upevní se do penetrometru a zkontroluje se nulová hodnota na stupnici.

Vytemperovaný vzorek přemístíme společně s miskou temperované vody pod penetrometr tak, aby místo vpichu bylo alespoň 10 mm od jiného vpichu a 10 mm od stěny nádoby. Penetrační jehlu přibližujeme k povrchu vzorku, nejdříve velkým posunem celého zařízení, poté již pouze drobnými posuny samotné jehly, dokud nedojde k protnutí hrotu jehly s jeho odrazem ve vzorku. Zkontrolujeme nulu na stupnici, jestli je závaží opravdu 100 g, nastavíme dobu zatěžování 5 s a spustíme přístroj.

Po provedení vpichu se na stupnici odečte hodnota penetrace v penetračních jednotkách. Tato hodnota se zapíše, jehla se očistí a celý postup se opakuje znovu, a to minimálně dvakrát pro získání více hodnot.



Obrázek 16: Přístroj pro penetraci jehlou

4.5.3 Vyhodnocení

Aby bylo provedení zkoušky platné, musí výsledky platit dle uvedené normy na tzv. maximální rozdíl platných stanovení. Pro asfalty do 49 p.j. může být maximální rozdíl mezi dvěma výsledky 2 p.j., pro asfalty penetrace 50 p.j. - 149 p.j. může být tento rozdíl až 4 p.j. Při splnění této podmínky je z dílčích hodnot vypočítám aritmetický průměr, který se zaokrouhlí na nejbližší celé číslo a tím získáme výslednou penetraci námi zkoušeného asfaltu.

4.6 Stanovení bodu měknutí metodou kroužek a kulička

Zkouška stanovení bodu měknutí metodou kroužek a kulička se provádí dle evropské normy ČSN EN 1427 (27). Zkouška spočívá v délce propadu ocelové kuličky asfaltovým pojivem odlitým do mosazného kroužku, zahřívaného ve vodní, nebo glycerinové lázni.

4.6.1 Přístroje a pomůcky

K provedení zkoušky jsou zapotřebí tyto pomůcky: destilovaná deionizovaná voda, zkušební zařízení pro kroužek a kuličku, dva mosazné kroužky s osazením vyhovující rozměrům specifikovaným v normě, odlévací destička, dvě kuličky z korozivzdorné oceli o průměru $(9,50 \pm 0,05)$ mm o hmotnosti $(3,50 \pm 0,05)$ g, středící prstenec pro kuličky, držák kroužků a sestava, skleněná kádinka, teploměr, magnetické míchadlo (5)

4.6.2 Postup zkoušky

Zkoušené asfaltové pojivo se nahřeje na teplotu ne vyšší než 100 °C nad předpokládaný bod měknutí. Na stejnou teplotu se ohřejí i dva mosazné kroužky, které se umístí na odlévací destičku natřenou separačním prostředkem a naleje se do nich asfaltové pojivo (obr. 17).



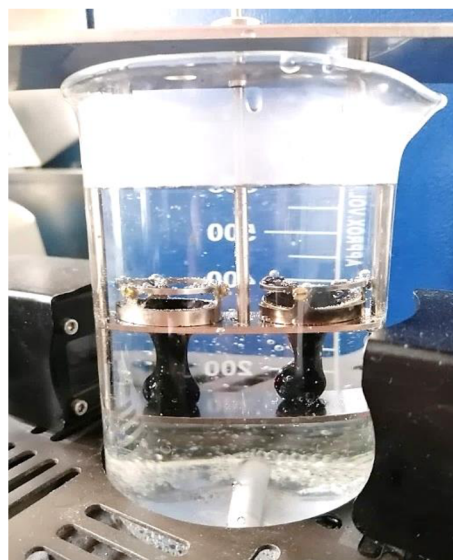
Po zchladnutí vzorku se pomocí nahřáté špachtle seřízne přebytek pojiva a vzorek se umístí do držáku kroužků se stojanem. Ten se umístí do kádinky s destilovanou odvzdušněnou vodou, jejíž hladina má být minimálně (50 ± 3) mm nad horním okrajem kroužků. Celá sestava i ocelové kuličky se ochladí na teplotu (5 ± 1) °C. Po vytemperování se ocelové kuličky osadí do středních prstenců, na dno kádinky umístíme magnetické míchadlo a toto celé zařízení umístíme do zkušebního přístroje, který vidíme na obrázku 18. Do kádinky vložíme teploměr a zapneme zkušební přístroj. Po započnutí zkoušky dochází k rovnoměrnému ohřívání obou vzorků, a to s rychlostí 5 °C/min. Při bližení se teplotě bodu měknutí se pojivo začne protahovat až na vzdálenost $(25 \pm 0,4)$ mm, kdy dojde k protnutí laserového paprsku, což můžete vidět na obrázku 19, přístroj automaticky vypne ohřívání vody a zaznamená teplotu, která se rovná teplotě bodu měknutí. Tento záznam se děje zvlášť pro levou i pravou kuličku.



Obrázek 18: Destička s odlítnými vzorky



Obrázek 19: Zkušební zařízení pro kroužek a kuličku



Obrázek 17: Protnutí laserového paprsku



4.6.3 Vyhodnocení

Výsledkem měření jsou dvě hodnoty – pro levý i pravý kroužek zvlášť, které se pro bod měknutí nižší než 80 °C nesmí lišit o více než 1 °C, jinak jsou neplatné. Celkovým výsledkem této zkoušky je jedna teplota – bod měknutí zkoumaného vzorku, která se pro bod měknutí menší nebo rovný 80 °C získá aritmetickým průměrem dílčích výsledků a zaokrouhlí se na 0,2 °C.

4.7 Optimalizace receptury

Optimalizace receptury (obr. 20) byla nejzásadnější část této bakalářské práce. Je důležitá k určení poměru jednotlivých složek, aby výsledná směs splňovala požadavky.

4.7.1 Přístroje a pomůcky

K namíchání zkušebního emulzního mikrokoberce se připraví plastová miska, do které jsem všechny komponenty přidávala, a k tomu i plastová vidlička, popřípadě lžička, kterou jsem směs míchala. Dále váha, s přesností $\pm 0,1$ g, nádoba na vodu a plechová mistička na emulzi.

4.7.2 Postup

Na váhy se položí prázdná plastová miska a váhy se vynulují. Nasype se kamenivo, přidá se cement a tyto dva komponenty se řádně promíchají. Cement ve výsledné směsi zpomalí její štěpení. Přilije se voda a opět provedeme míchání. Směs se přemístí na jednu polovinu misky a na druhou polovinu se přidá požadované množství asfaltové emulze. V tento moment zapínáme stopky a velmi důkladně a rychle mícháme směs kameniva, cementu a vody s asfaltovou emulzí. Každé zrnko kameniva by se mělo dokonale obalit emulzí, aby mohlo docházet ke štěpení. Dokud jsou vidět bublinky, znamená to, že směs stále štěpí. Když se blížíme ke konci doby štěpení, emulzní mikrokoberce nám začne houstnout, což je patrné na vidličce, kterou provádíme míchání, bublinky zmizí a v tuto chvíli vypínáme stopky a zapisujeme výsledný čas do tabulky. Míchání provádíme po celou dobu měření.

4.7.3 Vyhodnocení

Posuzuje se výsledná doba štěpení emulzního mikrokoberce. Ta se liší podle poměrů jednotlivých složek ve směsi. Požadovaná doba štěpitelnosti je 90 – 300 s. Do tohoto rozmezí je třeba být v tomto rozmezí, jinak je zapotřebí pozměnit recepturu. Dále nás zajímá celkový vzhled výsledné směsi. Jestli jsou všechna zrna kameniva obalena emulzí, jestli se výsledná směs nedrolí a drží pohromadě. Důkazem dobře namíchaného mikrokoberce je, když nám zhruba po 15 minutách od dokončení míchání vyteče čistá voda (obr. 29).



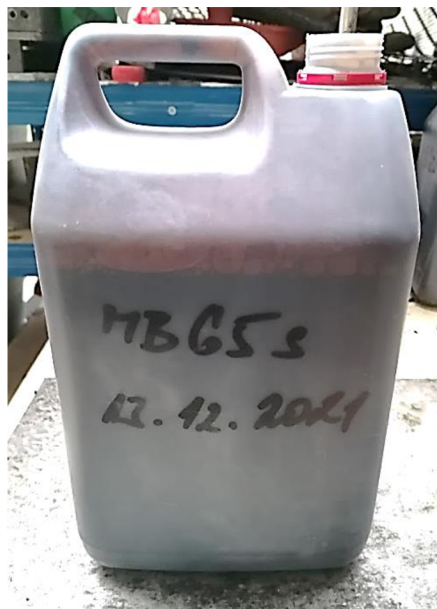
Obrázek 20: Optimalizace receptury

5 PRAKTICKÁ ČÁST – POUŽITÉ MATERIÁLY

V této části bakalářské práce jsou uvedeny a popsány materiály, se kterými se pracovalo během laboratorního zkoušení.

5.1 Asfaltová emulze

Pro výrobu všech zkušebních směsí je použita asfaltová emulze C 65 BP 5 z firmy Vialit Soběslav., obchodního značení MB 65 S, jak je patrné z obrázku 21. Jedná se o kationativní emulzi ze silničního asfaltu, jehož obsah je 65 %, emulze je modifikovaná latexem a má třídu štěpitelnosti 5. Tato emulze se běžně používá při pokládce emulzních mikrokoberců.

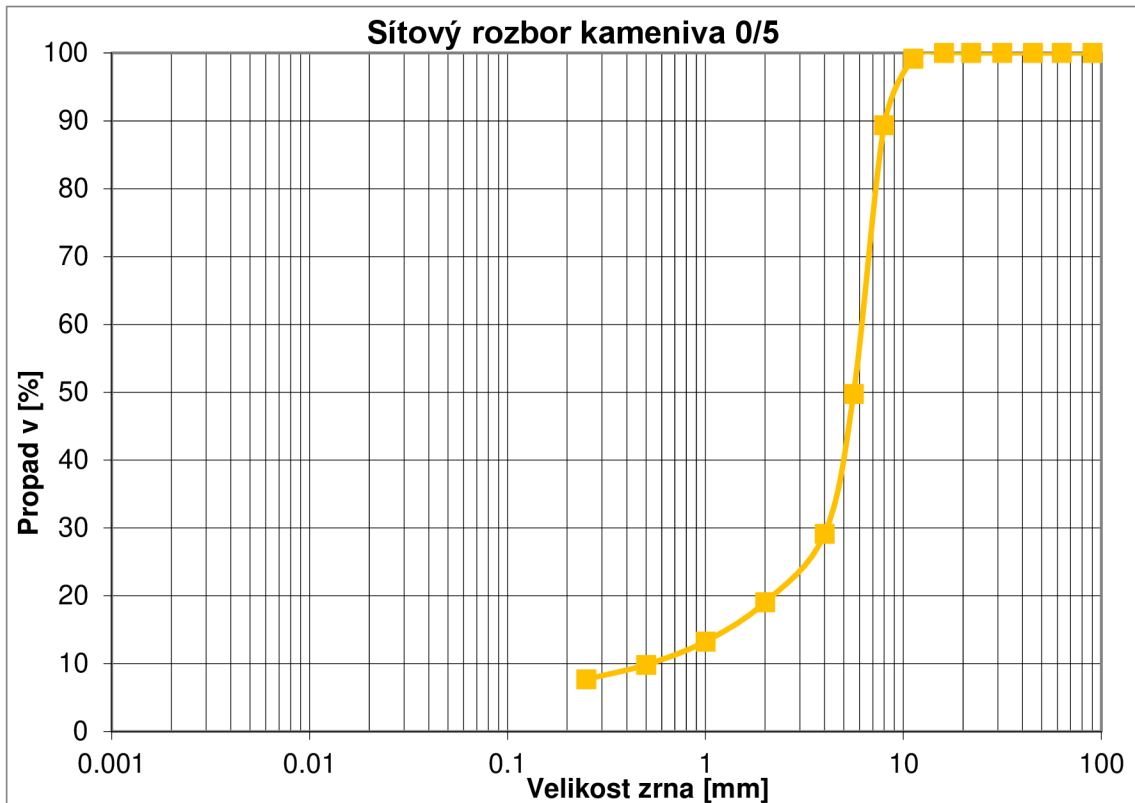


Obrázek 21: Asfaltová emulze MB 65 S

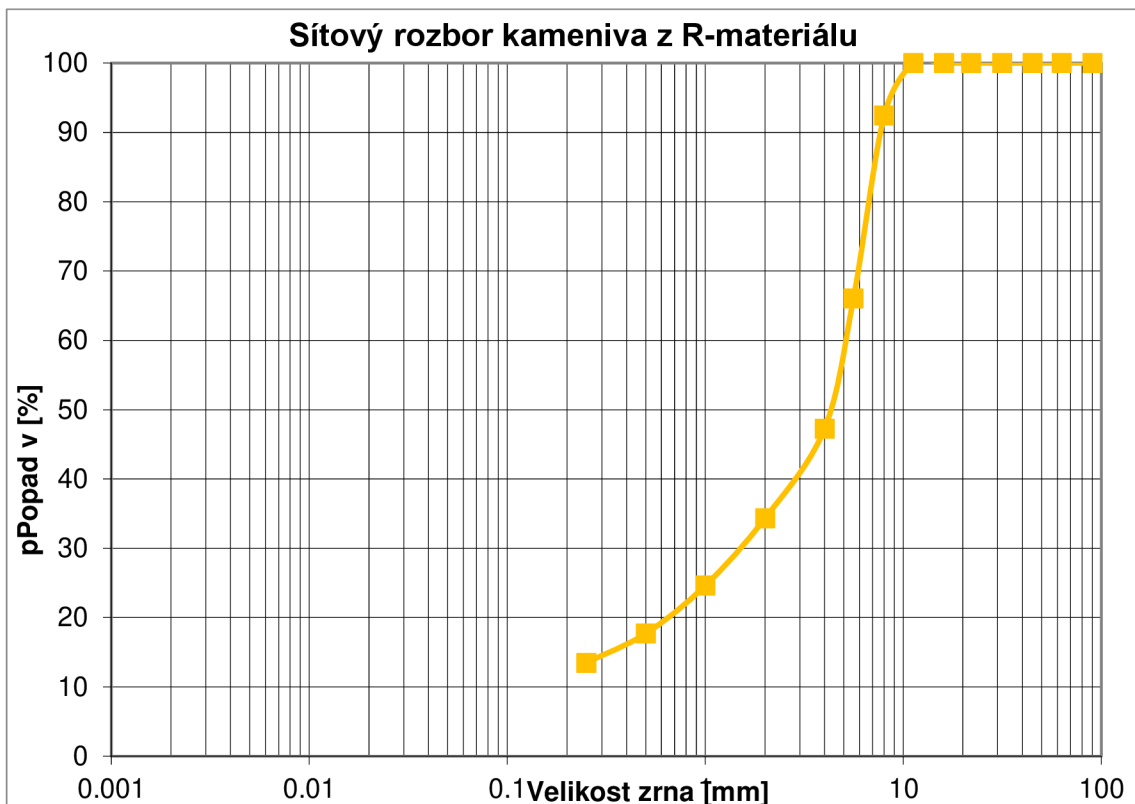
5.2 Kamenivo

Použité kamenivo bylo poskytnuto firmou Vialit Soběslav. Jedná se o kamenivo z lomu Loja, provozovaný společností Bernegger GmbH. Frakce použitého kameniva byla 0/5. Křivku zrnitosti tohoto kameniva lze vidět na obrázku 22 a údaje o propadech v příloze 1.

Další použité kamenivo bylo kamenivo z R-materiálu, na kterém jsem po extrakci asfaltu dělala čáru zrnitosti, kterou lze vidět na obrázku 23 a údaje o propadech v příloze 2.



Obrázek 22: Sítový rozbor kameniva 0/5



Obrázek 23: Sítový rozbor kameniva R-materiálu

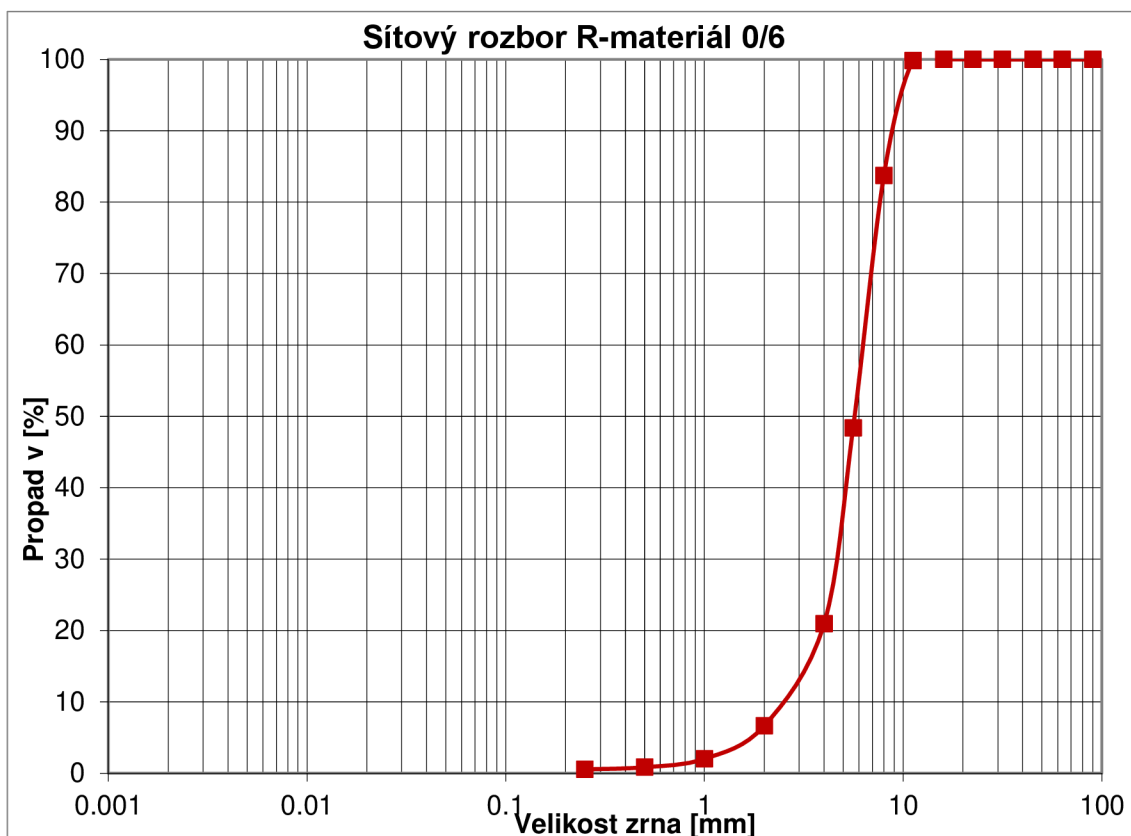
5.3 R-materiál

R-materiál (obr. 24) byl vyzvednut na obalovně v Rajhradcích s původní frakcí 0/11 mm, kterou jsem pomocí sít upravila na 0/6 mm.



Obrázek 24: R-materiál

Na tomto R-materiálu jsem udělala síťový rozbor, jehož postup je popsán v kapitole 4.3 a jehož výsledek je zachycen na obrázku 25 a údaje o propadech v příloze 3. Dále jsem na R-materiálu provedla extrakci a destilaci pojiva, což mi umožnilo zjistit množství asfaltu v R-materiálu, které jsem vypočítala podle vzorce uvedeného v kapitole 4.4.4 (tab. 6), provedla penetraci jehlou na získaném pojivu (tab. 7) popsanou v kapitole 4.5 a zjistila bod měknutí, který je popsán v kapitole 4.6 (tab. 8). Na získaném kamenivu zbaveném asfaltu jsem provedla síťový rozbor, jehož výsledek je uveden v kapitole 5.2 na obrázku 23.



Obrázek 25: Sítový rozbor R-materiál 0/6

Tabulka 4: Množství pojiva v R-materiálu

Množství pojiva	
Druh materiálu	R-materiál
m ₁ - vysušený materiál [g]	1500
m ₂ - válcová nádoba s filtračním papírem [g]	718
m ₃ - válcová nádoba s filtračním papírem a filerem [g]	860.9
m ₄ - kamenivo vysušené	1242.5
množství pojiva - a [%]	7.64

Tabulka 5: Penetrace jehlou asfaltového pojiva z R-materiálu

Penetrace jehlou	
měření č.1 [p.j.]	25.3
měření č.2 [p.j.]	24.1
měření č.3 [p.j.]	24.6
průměr [p.j.]	25



Tabulka 6: Bod měknutí asfaltového pojiva z R-materiálu

Bod měknutí	
kulička levá [°C]	65.0
kulička pravá [°C]	66.5
průměr [°C]	65.8

5.4 Voda

Jakákoliv voda (obr. 26) použitá při provádění této bakalářské práce, jak na proplach kameniva, tak jako složka emulzního mikrokoberce je pitná voda o teplotě cca 20 °C.

5.5 Cement

Cement použitý do směsi EMK byl poskytnut firmou Vialit Soběslav. Je to CEM II / A-LL, což je portlandský cement s vápencem, s obsahem slínku 80 % - 94 % a je zachycen na obrázku 27.



Obrázek 26: Voda



Obrázek 27: Cement II / A-LL



6 PRAKTICKÁ ČÁST – VÝSLEDKY

6.1 Postup prací

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo optimalizovat recepturu emulzního mikrokoberce s využitím R-materiálu. Zjistit správné poměry jednotlivých komponentů tak, aby se dala výsledná směs využít i v praxi.

Praktická část je rozdělena do tří logicky navazujících etap, které jsou podrobně uvedeny v následujících kapitolách této práce:

- I. **etapa:** Stanovení vlastností vstupních surovin. Jedná se o síťový rozbor kameniva a R-materiálu, extrakci pojiva z R-materiálu a stanovení jeho vlastností (bod měknutí a penetrace) a množství
- II. **etapa:** Optimalizace receptury emulzního mikrokoberce. V rámci této etapy byl připraven a optimalizován EMK z kameniva a následně z R-materiálu.
- III. **etapa:** Stanovení vlastností pojiva z EMK. Pojivo z připravených EMK bylo extrahováno a byl stanoven jeho obsah a jeho vlastnosti (bod měknutí a penetrace).

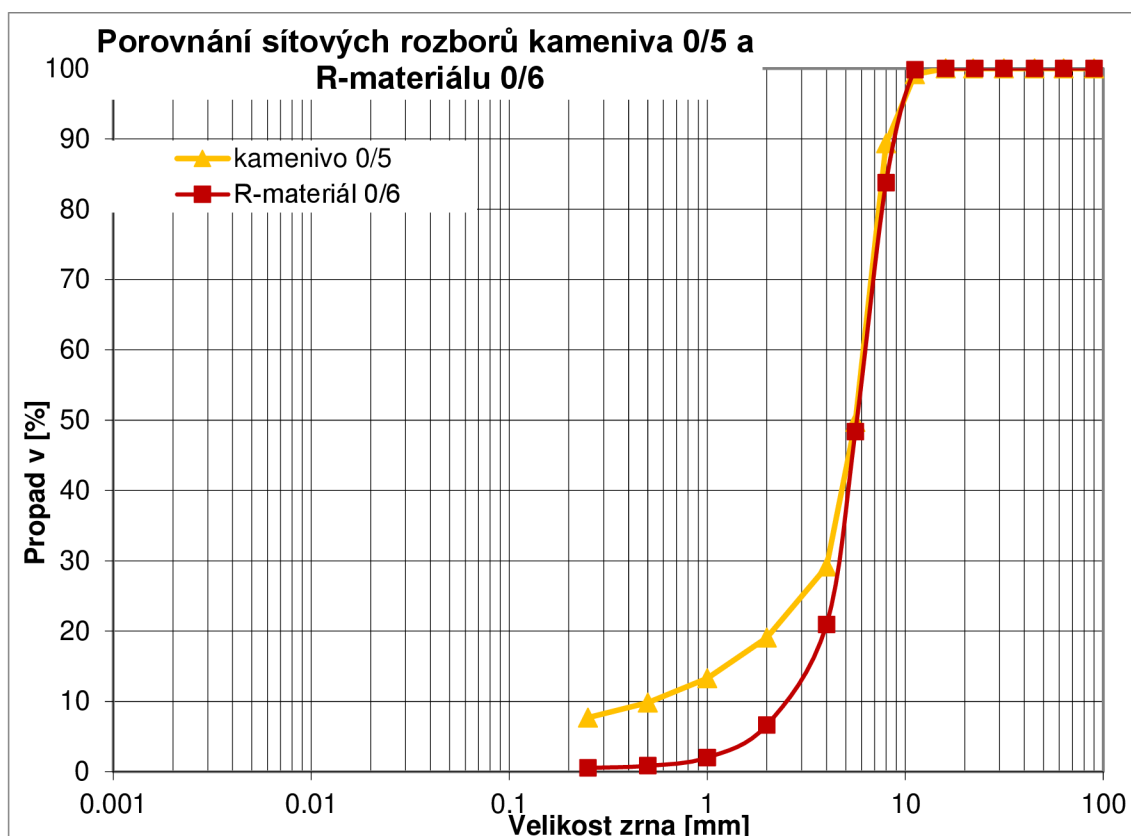
6.2 I. etapa

V této části práce jsem se zabývala vlastnostmi surovin, které byly použity pro vypracování této bakalářské práce. Vlastnosti těchto vstupních surovin jsou shrnuty v kapitole 5, proto se k nim nebudu v této kapitole nebudu podrobně vyjadřovat.

Nejprve jsem provedla síťový rozbor na kamenivu potřebném k namíchání klasického emulzního mikrokoberce. Výsledek této zkoušky lze vidět na obrázku 19. Dále jsem udělala síťový rozbor na R-materiálu z Rajhradic, jehož výsledek je zachycen na obrázku 25. Tyto dvě čáry zrnitosti jsem vložila do jednoho grafu (obr. 28). Cílem bylo zjistit, zda čára zrnitosti R-materiálu je podobná čáře zrnitosti kameniva a zda vyhovuje předepsaným požadavkům. Ve vyextrahovaném kamenivu je podíl jemných částic 13,48 % a v nevyextrahovaném R-materiálu 0,54 %. Reálná hodnota tudíž bude někde

uprostřed tohoto intervalu a tím je čára zrnitosti téměř totožná s čarou zrnitosti přírodního kameniva, která má podíl jemných částic 7,70 %.

Po zjištění, že mohu využít tuto surovinu, jsem provedla extrakci a destilaci pojiva, vypočítala množství asfaltu, které je uvedeno v tabulce 6 a stanovila vlastnosti asfaltu, tj. penetraci jehlou, jejíž výsledky jsou shrnuty v tabulce 7 a bod měknutí, (výsledky v tabulce 8).



Obrázek 28: Porovnání síťového rozboru kameniva 0/5 a R-materiálu 0/6

6.3 II. etapa

V rámci této etapy byl připraven a optimalizován nejdříve klasický emulzní mikrokoberec z kameniva a následně emulzní mikrokoberec z R-materiálu.

Po konzultaci s vedoucím práce jsem zvolila následující recepturu: 300 g kameniva, 0,5 % cementu, 10 % vody a 10 % emulze (vzorek 1). Při smíchání všech jednotlivých komponentů dle postupu uvedeného v kapitole 4.7 jsem naměřila dobu štěpení 391 s, což přesahuje povolené maximum doby štěpení – 300 s. Protože doba štěpení byla velmi dlouhá, musela jsem použít



menší množství vody, aby směs štěpila rychleji. Zvolila jsem stejné poměry ostatních surovin, kromě vody, které jsem dávkovala jen 6 % (vzorek 2). Doba štěpení této směsi byla 241 s, což je stále mnoho, takže do další směsi jsem dávkovala pouze 4 % vody (vzorek 3). Tato směs vyštěpila jen za čas 127 s, a po konzultaci s vedoucím práce byl tento vzorek zvolen jako výchozí.

Celkem byly připraveny 4 výchozí vzorky jejichž doba štěpení činila 127 s (vzorek 3a), 174 s (vzorek 3b) a 157 s (vzorek 3d) U vzorku 3c nedošlo ke správnému obalení kameniva asfaltovou emulzí, a tak jsem tento pokus musela označit za neplatný. Průměrná doba štěpení těchto tří platných vzorků byla cca 153 s.

Pro přehlednost jsem průběh optimalizace receptury shrnula do tabulky 9 a míchání směsi reprezentativního vzorku do tabulky 10.

Tabulka 7: Optimalizace receptury EMK z přírodního kameniva

EMK s použitím kameniva 0/6			
Číslo vzorku	1	2	3
kamenivo [g]	300	300	300
cement [%]	0,5	0,5	0,5
voda [%]	10	6	4
emulze [%]	10	10	10
doba štěpení [s]	391	241	127

Tabulka 8: Doba štěpení výchozího vzorku

EMK s použitím kameniva 0/5				
Číslo vzorku	3a	3b	3c	3d
kamenivo [g]	300	300	300	300
cement [%]	0,5	0,5	0,5	0,5
voda [%]	4	4	4	4
emulze [%]	10	10	10	10
doba štěpení [s]	127	174	91	157
			neplatný pokus	

Po namíchání výchozího EMK z kameniva jsem se začala věnovat EMK z R-materiálu. Jako výchozí recepturu jsem si zvolila stejné poměry jednotlivých složek, jako u výchozího vzorku EMK z kameniva, tedy 300 g R-materiálu, 0,5 % cementu, 4 % vody a 10 % asfaltové emulze, u které byla doba štěpení 286 s. Pro zkrácení této doby bylo nejprve u vzorku 5 zvýšeno



množství cementu na 1 %, zbytek složek ve stejném množství a doba štěpení byla 332 s. Protože tento krok nevedl ke zkrácení doby štěpení, bylo následně sníženo množství cementu a zvýšen podíl vody (vzorek 6). Poměry surovin a doby štěpení jsou zachyceny v tabulce 12 níže, ale ani tyto změny nevedly k příznivé době štěpení EMK. Byl tedy zvolen jiný postup, a to změna množství asfaltové emulze z 10 % na 8 %. S 8 % asfaltové emulze se kamenivo z R-materiálu hůře obalovalo, ale výsledná doba štěpení byla 141 s. Těžší obalování kameniva emulzí se dá přičíst tomu, že jsem tuto optimalizaci prováděla ručně, a ne za pomoci stroje, který by to mohl zvládnout precizněji.

Pro zajímavost jsem zkusila zvýšit podíl vody v EMK na 6 %, 90 s směs míchat a poté nechat odstát, a ukázalo se, že za dalších 210 s začala směs tuhnut. Tento postup jsem provedla kvůli tomu, že oproti klasickému EMK z kameniva, který začne po vyštěpení okamžitě tuhnut, EMK z R-materiálu začal tuhnut pomaleji. Tento materiál změní svou konzistenci, ale ne tak markantně, jako EMK z kameniva.

Postup promíchání a dalšího nezasahování do směsi byl však nevyhovující, protože celková doba, než EMK začal tuhnut byla 300 s, což už je hraniční hodnota uváděná v předpisech. Jako nejlepší postup při míchání vzorku mi vyšlo, že nejprve je potřeba směs důkladně promíchat, tak, aby se všechna jednotlivá zrna kameniva obalila asfaltovou emulzí, a poté postupně v míchání zpomalovat, až výsledná směs ztuhne. Je to velký rozdíl oproti klasickému EMK z kameniva, který se musí celou dobu míchat rychle.

Optimalizace receptury EMK z R-materiálu je shrnuta v tabulce 12.

Následně byly pro účely opakovatelnosti a reprodukovatelnosti výsledků připraveny další směsi EMK s R-materiálem, jejichž receptura byla shodná se vzorky 7, 8 a 10. Celkově tak byly připraveny 3 série směsí EMK, po 3 vzorcích na sérii. V rámci první série byl připraven EMK s 10 % asfaltové emulze (vzorky 7a, 7b, 7c), ty však vypadaly velmi mastně, což značilo přebytek emulze. V rámci druhé série EMK s 8 % asfaltové emulze (vzorky 8a, 8b, 8c). V rámci třetí série EMK s 6 % asfaltové emulze (vzorek 10a, 10b, 10c), vzorek po nějaké době přestal štěpit, ale netuhl, a bylo na něm vidět, že zrna nejsou kvalitně obalena, proto je zapotřebí větší množství emulze. Všechny tyto pokusy jsem shrnula v tabulce 12.



EMULZNÍ MIKROKOBERENCE S POUŽITÍM R-MATERIÁLU

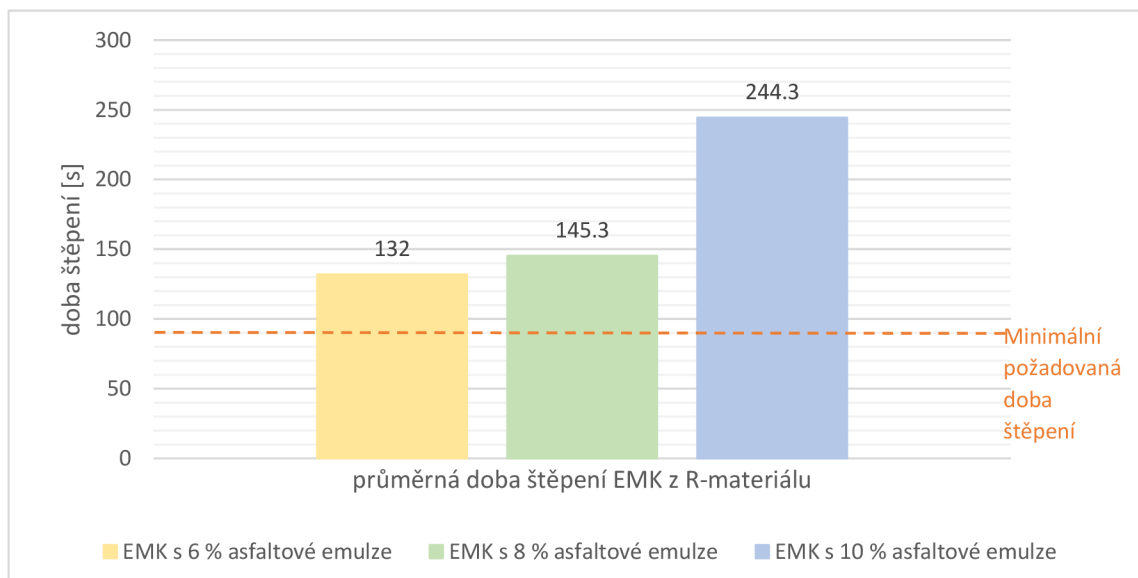
Pro větší přehlednost jsem průměrné doby štěpení EMK s různým podílem emulze shrnula ve sloupcovém grafu (obr. 29), kde je zobrazena i minimální hodnota štěpení, tedy 90 sekund. Žlutý sloupec znázorňuje na průměrnou dobu štěpení 6 % asfaltové emulze, která je nejnižší, a modrý sloupec grafu znázorňuje na dobu štěpení 10 % asfaltové emulze, která má nejvyšší hodnotu.

Tabulka 9: Optimalizace receptury EMK s R-materiálem

EMK s použitím R-materiálu 0/6							
Číslo vzorku	4	5	6	7	8	9	10
R-materiál [g]	300	300	300	300	300	300	300
cement [%]	0,5	1	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5
voda [%]	4	4	6	5	5	6	5
emulze [%]	10	10	10	10	8	8	6
doba štěpení [s]	286	332	334	225	141	90 promíchání 210 odležení	

Tabulka 10: Reprezentativní vzorky EMK s R-materiálem

EMK s použitím R-materiálu 0/6									
číslo vzorku	10a	10b	10c	8a	8b	8c	7a	7b	7c
R-materiál [g]	300	300	300	300	300	300	300	300	300
cement [%]	0,5	1	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
voda [%]	5	5	5	5	5	5	5	5	5
emulze [%]	6	6	6	8	8	8	10	10	10
doba štěpení [s]	160	113	123	141	132	163	225	243	265
komentář	už neštěpí, ale není tuhá drolí se			-	-	-	na pohled má mnoho asfaltu		



Obrázek 29: Porovnání průměrné doby štěpení s minimální dobou 90 s



6.4 III. etapa

Cílem III. etapy bylo stanovit reálné množství pojiva v optimalizovaných EMK, a to jak s přírodním kamenivem, tak s R-materiálem. Směs s R-materiálem obsahovala 8% podíl asfaltové emulze. Asfaltové pojivo bylo ze směsí EMK extrahováno a následně na něm byla stanovena penetrace a bod měknutí.

Pro získání dostatečného množství vyextrahovaného pojiva pro uvedené zkoušky, bylo potřeba cca 1 kg směsi EMK. Všechny tři provedené reprezentativní vzorky EMK byly smíchány, čímž došlo k získání potřebného množství materiálu. To dalo dohromady 905 g, na kterých jsem provedla extrakci a destilaci pojiva. To stejné jsem udělala i ze tří vzorků běžného EMK s přírodním kamenivem, jejichž celková hmotnost byla 853,6 g. Množství asfaltu v těchto vzorcích, získané výpočtem dle kapitoly 4.4.3, je uvedeno v tabulce 14, ve které je uvedeno i množství asfaltu v samotném R-materiálu.

Množství asfaltu v původním R-materiálu vyšlo 7,64 %. V běžných vozovkách, ze kterých je R-materiál získáván, nebývá běžně více než cca 6 % asfaltového pojiva, v případě nejčastěji používaných asfaltových směsí typu asfaltový beton, či asfaltový koberec mastixový. Po různých úvahách a konzultaci s vedoucím práce jsem došla k závěru, že je to způsobeno tím, že R-materiál frakce 0/11 byl přesit na frakci 0/6, tudíž z něj byla odebrána velká zrna a ve směsi zůstala jen ta menší. Velké množství malých zrn má vyšší měrný povrch kameniva a spotřebuje na své obalení více asfaltového pojiva než zrna velká. Výsledné množství asfaltu v R-materiálu je tak vyšší, než kdyby v něm byla obsažena i zrna větší velikosti.

Za účelem zjištění, jestli je směs EMK s R-materiálem použitelná v praxi mě zajímalo především množství asfaltu v této směsi. Dle předpisů je povolené množství asfaltového pojiva u EMK 0/4 nebo 0/5 6,0 % – 8,5 %, u EMK 0/8 5,0 % – 7,5 % a u EMK 0/11 4,5 % – 7,0 %. V rámci bakalářské práce byl použit R-materiál frakce 0/6, tudíž maximální možné množství pojiva je 8,5 %. Na vzorku EMK s R-materiálem bylo zjištěno 11,61 % asfaltového pojiva, což výrazně převyšuje povolenou maximální hodnotu. V praxi by to teoreticky mohlo znamenat vypocení asfaltu z EMK na povrch vozovky při vyšších letních teplotách. Nicméně je nutno poznamenat, že se jedná o podíl vyextrahovaného



pojiva a je otázka, jak se bude tato směs chovat při reálných podmínkách in situ. Vzhledem k tomu, že se zkoumá použití R-materiálu pouze do spodní vrstvy dvouvrstvého EMK, mohlo by se na zvýšený podíl pojiva reagovat recepturou horní vrstvy EMK, která by mohla obsahovat nižší podíl asfaltu, tj. méně asfaltové emulze. Další možností, jak snížit celkové množství pojiva v recyklované směsi EMK je použití nižšího podílu R-materiálu, např. pouze 50 % a zbylých 50 % by tvořilo přírodní kamenivo.

Na těchto vzorcích jsem stanovila penetraci asfaltu (tab. 15) a bod měknutí (tab. 16). Asfalt vyextrahovaný z R-materiálu dosáhl průměrné penetrace 25 p.j., asfalt získaný z EMK s R-materiálem dosáhl 31 p.j. a asfalt z EMK s přírodním kamenivem (tj. asfalt v EMK po vyštěpení asfaltové emulze) dosáhl penetrace 31 p.j. Z těchto údajů vyplývá, že asfaltové pojivo v EMK s R-materiálem je relativně velmi tvrdé, oproti pojivu z EMK bez R-materiálu, které dosahuje výrazně vyšší hodnoty penetrace. Bod měknutí pojiva z R-materiálu činí 65,8 °C, u EMK z R-materiálu 59,2 °C a u klasického EMK 47,2 °C, z čehož vyplývá, že obsah R-materiálu výrazně zvýšil bod měknutí asfaltu.

Tabulka 11: Množství pojiva

Množství pojiva			
Druh materiálu	R-materiál	EMK z R-materiálu	EMK z kameniva
m1 - vysušený materiál [g]	1500	905	853.6
m2 - válcová nádoba s filtračním papírem [g]	718	590.5	642.1
m3 - válcová nádoba s filtračním papírem a filerem [g]	860.9	614.2	646.5
m4 - kamenivo vysušené [g]	1242.5	776.2	803.8
množství pojiva - a [%]	7.64	11.61	5.32



Tabulka 12: Penetrace jehlou

Penetrace jehlou			
Druh materiálu	R-materiál	EMK z R-materiálu	EMK z kameniva
měření č.1 [p.j.]	25.3	31.3	72.2
měření č.2 [p.j.]	24.1	30.4	73.8
měření č.3 [p.j.]	24.6	30.2	74.2
průměr [p.j.]	25	31	73

Tabulka 13: Bod měknutí

Bod měknutí			
Druh materiálu	R-materiál	EMK z R-materiálu	EMK z kameniva
kulička levá [°C]	65	59.2	46.9
kulička pravá [°C]	66.5	59.2	47.4
průměr [°C]	65.8	59.2	47.2

6.5 Porovnání množství pojiva v EMK stanoveného po extrakci a teoretického množství pojiva v EMK stanoveného výpočtem

Důležitou etapou práce bylo stanovit množství asfaltového pojiva v EMK (a to jak ve výchozím, tak v EMK s R-materiálem). Množství pojiva bylo stanoveno jak na základě matematického výpočtu, tak jeho extrakci ze směsi EMK.

6.5.1 Výpočet teoretického množství pojiva v EMK

Matematický výpočet množství asfaltového pojiva je popsán na EMK s přírodním kamenivem. K vytvoření směsi jsem použila 300 g kameniva, dále množství 30 g 65% asfaltové emulze a 1,5 g cementu. Reálné množství pojiva ve směsi po vyštěpení emulze je pouze 19,5 g. Při výpočtu sumy hmotnosti v tabulce 17 jsem neuvažovala množstvím vody obsažené v emulzi a s množstvím vody přidané do směsi, protože ta tam reálně po vyštěpení emulze a odpaření již není. Jednotlivé výpočty jsou znázorněny v tabulce 17.



Tabulka 14: Matematický výpočet množství asfaltového pojiva v EMK

Matematický výpočet množství pojiva		
1. EMK s přírodním kamenivem		
množství kameniva [g]	300	
10 % asfaltové emulze s 65% podílem asfaltu [g]	30	emulze
	19.5	asfaltu
0,5 % cementu [g]	1.5	
suma hmotnosti [g]	321	
celkové množství asf. pojiva [%]	6.07	
2. EMK z R-materiálu		
množství kameniva [g]	300	
8 % asfaltové emulze s 65% podílem asfaltu [g]	24	emulze
	15.6	asfaltu
0,5 % cementu	1.5	
suma hmotnosti [g]	317.1	
množství asf. pojiva v R-materiálu [%]	7.23	
celkové množství asf. pojiva [%]	12.15	

6.5.2 Porovnání výsledku matematického výpočtu a výsledku laboratorních zkoušek

Výsledky matematického výpočtu jsou uvedeny v tabulce 17 a výsledky laboratorních zkoušek v tabulce 14. U EMK z přírodního kameniva mi laboratorním zkoušením vyšlo množství asfaltového pojiva 5,32 % a matematickým výpočtem 6,07 %, což činí rozdíl 0,75 %. U EMK z R-materiálu mi laboratorním zkoušením vyšlo množství asfaltového pojiva 11,61 % a matematickým výpočtem 12,15 %, což činí rozdíl 0,54 %.

Ze získaných výsledků lze vyvodit závěr, že laboratorním zkoušením dostaneme vždy menší podíl asfaltového pojiva obsaženého ve směsi. Mohlo by to být zapříčiněno například nedokonalým provedením laboratorních zkoušek, nebo i nekvalitními vstupními surovinami.



6.6 Fotodokumentace připravených vzorků EMK

Tuto kapitolu věnuji fotodokumentaci jednotlivých vzorků při výrobě během jejich optimalizace.



Obrázek 30: Optimalizace receptury klasického EMK



Obrázek 31: Detailní záběr na EMK z přírodního kameniva s kapkou vody



Obrázek 32: Reprezentativní vzorek EMK z přírodního kameniva



Obrázek 33: Optimalizace receptury EMK z R-materiálu



Obrázek 34: EMK z R-materiálu s 6 % asfaltové emulze



Obrázek 35: EMK z R-materiálu s 8 % asfaltové emulze



Obrázek 36: EMK z R-materiálu s 10 % asfaltové emulze



Obrázek 37: Optimalizace receptury EMK z R-materiálu

7 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala tématem použití R-materiálu do emulzních mikrokoberců, optimalizací receptury emulzního mikrokoberce s použitím R-materiálu a posouzením využitelnosti takovéto směsi v praxi.

V teoretické části byly v rámci rešerše shrnuty základní poznatky o kalových vrstvách. Dále zde byla zde podrobně popsána výroba EMK, technologie pokládky této kalové vrstvy, rozebrány a popsány jednotlivé komponenty receptury EMK a vysvětlené postupy jednotlivých laboratorních zkoušek, které byly použity.

V praktické části bylo hlavním cílem připravit EMK se 100% náhradou přírodního kameniva R-materiálem, optimalizovat recepturu směsi a porovnat jej s běžným EMK bez R-materiálu. Celkově bylo pro účely optimalizace vyrobeno 20 směsí. Z laboratorního zkoumání vyplývají tyto poznatky:

- Nelze využít totožné receptury jako u klasického EMK, je zapotřebí snížit množství použité asfaltové emulze.
- Byl zjištěn rozdíl při míchání směsi mikrokoberců. Běžný EMK se po celou dobu štěpení musí míchat rychle, kdežto EMK s R-materiálem se musí nejdříve rychle zamíchat a po obalení všech zrn asfaltovou emulzí v míchání zpomalovat
- EMK s R-materiálem se při štěpení a následném tuhnutí chová rozdílně než klasický EMK. Není po vyštěpení tak tuhý, jako EMK z kameniva, ale po určité době ztvrdne a vyteče z něj malé množství čisté vody, což je důkaz správně provedeného emulzního mikrokoberce.
- Celkový obsah asfaltového pojiva značně převyšuje maximální povolenou 8,5 %.
- Asfaltové pojivo z EMK s R-materiálem má výrazně nižší penetraci než klasický EMK a vyšší teplotu bodu měknutí.

Důležitým přínosem tohoto výzkumu je, že využití R-materiálu do mikrokoberců má zcela nepochybně budoucnost. Zjistila jsem, že i v případě



100% náhrady přírodního kameniva R-materiálem lze namíchat kvalitní mikrokoberec. Problematické je, že vzhledem k velmi vysokému množství asfaltového pojiva v emulzním mikrokoberci s R-materiálem je tento postup v praxi z hlediska použitelnosti nutné ověřit např. na testovacím úseku, který mi byl přislíben od firmy Vialit s mnou získanou recepturou. Na tomto úseku bych ráda provedla zkoušky a obecně se zabývala dále uvedenými řešeními ve své diplomové práci. Nabízí se i mnohá další řešení.

Prvním řešením by mohlo být nepřipravovat EMK pouze z R-materiálu, ale použít například 50 % R-materiálu a 50 % standardního kameniva. Tím by se snížil podíl asfaltového pojiva z R-materiálu, a tudíž by to vedlo i ke snížení celkového množství pojiva ve výsledné směsi.

Dalším řešením by mohlo být použití fluxačních přísad do asfaltové emulze, která by umožnily změkčit asfaltové pojivo na R-materiálu, tudíž by mohl být využit větší potenciál tohoto pojiva a nemuselo by se přidávat tak relativně vysoké množství nového asfaltového pojiva z asfaltové emulze.

Závěrem lze říct, že se jedná o inovativní technologii, která může mít velký potenciál, a proto bych na prvotní výsledky získané v rámci této práce chtěla navázat v následujícím hlubším výzkumu v práci diplomové.



8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Borský, Michal. Kvalita silnic ve světě: Česko je na evropském chvostě, lepší cesty mají na Slovensku i v Albánii. místo neznámé : Autosalon.tv, 2021.
2. ČSN 73 6130. Stavba vozovek - kalové vrstvy. Praha : Česká agentura pro standardizaci, 2021.
3. Letters, RILEM Technical. 2019.
4. TP 208. Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek na místě za studena. místo neznámé : Ministerstvo dopravy ČR, 2009.
5. Anping Wang, Shihui Shen, Xinghai Li, Bo Song. Micro-surfacing mixtures with reclaimed asphalt pavement: Mix design and performance evaluation. Construction and Building Materials. Beijing, China : autor neznámý, 2019. 0950-0618.
6. M. Poutsoltani, S. Hesami. Performance evaluation of microsurfacing mixture containing reclaimed asphalt pavement. 2018 : International Journal of Pavement.
7. Ye, Hao. Innovative evaluation of recycled asphalt pavement use in slurry seal applications. Michigan : Michigan State University, 2021.
8. M. Saghafi, N. Tabatabaee, S. Nazarian. Performance Evaluation of Slurry Seals Containing Reclaimed Asphalt Pavement. 2019.
9. Garfa, Arbia & Dony, Anne & Carter, Alan. Performance evaluation and behavior of microsurfacing with recycled materials. 2016.
10. M. Robati, A. Carter, D. Parraton. Incorporation of Reclaimed Asphalt Pavement and Post-Fabrication Asphalt Shingles in Microsurfacing Mixture. 2013.
11. D.G. Peshkin, T.E. Hoerner, K.A. Zimmerman. Optimal timing of pavement preventive maintenance treatment applications. místo neznámé : National cooperative highway research program, 2004.
12. L. Uzarowski, M. Mager, G. Farrington. Thin surfacing - effective way of improving road safety within scarce road maintenance budget. Alberta, Canada : autor neznámý, 2005.
13. Jakub Valenta, Vialit Soběslav. Vliv teploty na pokládku mikrokoberce za studena. 2020.
14. B. Broughton, Soon.Jae Lee, You-Jae Kin. 30 Years of microsurfacing: A review. San Marcos, USA : Texas State University, 2012.
15. TP 96. Vysprávkování vozovek tryskovou metodou. místo neznámé : Ministerstvo dopravy, 2011.
16. TP 115. Opravy trhlin na vozovkách a asfaltových krytech. místo neznámé : Ministerstvo dopravy, obor infrastruktury, 2009.
17. Dostál, Filip. Vliv složení emulzního mikrokoberce na jeho vlastnosti. Brno : VUT v Brně, 2017.
18. R. Hafezzadeh, A. Kavussi. Application of microsurfacing in repairing pavement surface rutting. 2019.



19. L. Lane, D.X. Ceng, G. Hicks. Manual for slurry surfacing. San José : San José state university, Mineta transportation institute, 2019.
20. Koudelka, Tomáš. Mikrokoberec za studena. Brno : Koudelka, 2012.
21. ZAJÍČEK, Jan. Technologie staveb vozovek. Praha : Informační centrum ČKAIT s.r.o., 2014. 978-80-87438-59-6.
22. Valentin, Ing. Václav. TECHNICKÉ KVALITATIVNÍ PODMÍNKY STAVEB POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ. Emulzní kalové vrstvy. Praha : MINISTERSTVO DOPRAVY, Odbor pozemních komunikací, 2016.
23. Varaus, doc. Dr. Ing. Michal. Asfaltová pojiva. Původ, rozdělení, vlastnosti, zkoušené. Brno : autor neznámý.
24. ČSN EN 13808. Asfalty a asfaltová pojiva - Systém specifikace kationativních asfaltových emulzí. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
25. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Stavba vozovek - Kationativní asfaltová emulze. ČSN 73 6132. Praha : Česká agentura pro standardizaci, 2021.
26. ČSN EN 13043 - Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch. Praha : Český normalizační institut, 2014.
27. Varaus, Michal. Kamenivo. Rozdělení, výroba, normy pro kamenivo, zkoušení. Brno : autor neznámý, 2021.
28. Johannes, Petrina Tutumina. Development of an Improved Mixture Design Framework for Slurry Seals and Micro.Surfacing Treatments. Madison : University of Wisconsin, 2014.
29. ČSN EN 993-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
30. ČSN EN 12697-3+A1. Asfaltové směsi - Zkušební metody - Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva: Rotační vakuové destilační zařízení. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
31. ČSN EN 1426. Asfalty a asfaltová pojiva - stanovení penetrace jehlou. místo neznámé : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
32. ČSN EN 1427. Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička . Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
33. Ibrahim, H.E.-S. Assessment and design of emulsion - aggregate mixtures for use in pavements. místo neznámé : University of Nottingham, 1998.
34. Borský, Michal. Kvalita silnic ve světě: Česko je na evropském chvostě, lepší cesty mají na Slovensku i v Albánii. místo neznámé : autosalon.tv, 2021.



9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Výřez z mapky WEF, zdroj: tiskový servis WEF	11
Obrázek 2: Čerstvě položený mikrokoberec 0/5, začátek štěpení (9)	14
Obrázek 3: Souprava pro pokládku mikrokoberce společnosti Vialit Soběslav (9)	18
Obrázek 4: Ukázka asfaltové emulze	18
Obrázek 5: Koloidní mlýn (9)	21
Obrázek 6: Použití kamenivo frakce 0/5	22
Obrázek 7: Odběr R-materiálu	25
Obrázek 8: Získání požadované frakce R-materiálu pro EMK	26
Obrázek 9: Praní vzorku kameniva	27
Obrázek 10: Praní vzorku kameniva	27
Obrázek 11: Prosévací přístroj	28
Obrázek 12: Sušárna s ventilací	28
Obrázek 13: Extrakční zařízení	30
Obrázek 14: Destilační zařízení	31
Obrázek 15: Přístroj pro penetraci jehlou	31
Obrázek 16: Přístroj pro penetraci jehlou	32
Obrázek 17: Destička s odlitými vzorky	34
Obrázek 18: Zkušební zařízení pro kroužek a kuličku	34
Obrázek 19: Protnutí laserového paprsku	34
Obrázek 20: Optimalizace receptury	36
Obrázek 21: Asfaltová emulze MB 65 S	37
Obrázek 22: Síťový rozbor kameniva 0/5	38
Obrázek 23: Síťový rozbor kameniva R-materiálu	38
Obrázek 24: R-materiál	39
Obrázek 25: Síťový rozbor R-materiál 0/6	40
Obrázek 26: Voda	41
Obrázek 27: Cement II / A-LL	41
Obrázek 28: Porovnání síťového rozboru kameniva 0/5 a R-materiálu 0/6	43
Obrázek 29: Porovnání průměrné doby štěpení s minimální hodnotou	46
Obrázek 30: Optimalizace receptury klasického EMK	51
Obrázek 31: Detailní záběr na EMK z přírodního kameniva s kapkou vody	51
Obrázek 32: Reprezentativní vzorek EMK z přírodního kameniva	51
Obrázek 33: EMK z R-materiálu s 10 % asfaltové emulze	52
Obrázek 34: EMK z R-materiálu s 6 % asfaltové emulze	52
Obrázek 35: Optimalizace receptury EMK z R-materiálu	52
Obrázek 36: Optimalizace receptury EMK z R-materiálu	52
Obrázek 37: EMK z R-materiálu s 8 % asfaltové emulze	52



10 SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Kvalitativní parametry kameniva dle ČSN EN 13043 (21)</i>	23
<i>Tabulka 2: Minimální velikost zkušebních navážek, zdroj: (28)</i>	27
<i>Tabulka 3: Minimální velikost zkušebních navážek</i>	27
<i>Tabulka 7: Množství pojiva v R-materiálu</i>	40
<i>Tabulka 8: Penetrace jehlou asfaltového pojiva z R-materiálu</i>	40
<i>Tabulka 9: Bod měknutí asfaltového pojiva z R-materiálu</i>	41
<i>Tabulka 10: Optimalizace receptury EMK z přírodního kameniva</i>	44
<i>Tabulka 11: Doba štěpení výchozího vzorku</i>	44
<i>Tabulka 12: Optimalizace receptury EMK s R-materiálem</i>	46
<i>Tabulka 13: Reprezentativní vzorky EMK s R-materiálem</i>	46
<i>Tabulka 14: Množství pojiva</i>	48
<i>Tabulka 15: Penetrace jehlou</i>	49
<i>Tabulka 16: Bod měknutí</i>	49
<i>Tabulka 17: Matematický výpočet množství asfaltového pojiva v EMK</i>	50



11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

aj.	a jiné
atd.	a tak dále
cca	přibližně
ČSN EN	česká technická norma zavádějící evropskou normu
ČSN	Česká technická norma
D	velikost zrna
EKZ	emulzní kalový zákryt
EMK	emulzní mikrokoberec
kg	kilogram
l	litr
m ²	metr čtverečný
max.	maximálně
min.	minimálně
mm	milimetr
např.	například
Obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka



12 SEZNAM PŘÍLOH

1. Příloha: Pracovní protokol síťového rozboru kameniva 0/5
2. Příloha: Pracovní protokol síťového rozboru kameniva z R-materiálu
3. Příloha: Pracovní protokol síťového rozboru kameniva z R-materiálu



1. Příloha: Pracovní protokol síťového rozboru kameniva 0/5

PRACOVNÍ PROTOKOL

Vypracoval: Simona Kolesniková
Datum: 28.02.2022
Použitá norma: ČSN EN 933-1
Název: Síťový rozbor

Použitý materiál: kamenivo 0/5
Hmotnost vysušeného vzorku: 1500 g
Hmotnost vzorku po očištění kameniva: 1385.1 g

Velikost síta	Na síti [g]	Záchyt na síti [%]	Celkový záchyt na sítích [%]	Propad na sítích [%]
11.2	0	0.00	70.84	29.16
8	0	0.00	70.84	29.16
5.6	12.4	0.83	70.84	29.16
4	147.2	9.81	70.84	29.16
2	594.4	39.63	70.84	29.16
1	308.6	20.57	70.84	29.16
0.5	151.8	10.12	80.96	19.04
0.25	86.5	5.77	86.73	13.27
0.125	51.6	3.44	90.17	9.83
0.063	32	2.13	92.30	7.70
dno	115.5	7.70	100.00	0.00
celkem	1500	100.00	100.00	



2. Příloha: Pracovní protokol síťového rozboru kameniva z R-materiálu

PRACOVNÍ PROTOKOL

Vypracoval: Simona Kolesníková
Datum: 15.03.2022
Použitá norma: ČSN EN 933-1
Název: Síťový rozbor

Použitý materiál: kamenivo z R-materiálu
Hmotnost vysušeného vzorku: 1385.4 g
Hmotnost vzorku po očištění kameniva: 1200.1 g

Velikost síta	Na síť [g]	Záchyt na síť [%]	Celkový záchyt na sítěch [%]	Propad na sítěch [%]
11.2	0	0.00	52.75	47.25
8	0	0.00	52.75	47.25
5.6	0	0.00	52.75	47.25
4	104.9	7.57	52.75	47.25
2	365.5	26.38	52.75	47.25
1	260.4	18.80	52.75	47.25
0.5	179.1	12.93	65.68	34.32
0.25	134.3	9.69	75.38	24.62
0.125	96	6.93	82.31	17.69
0.063	58.3	4.21	86.52	13.48
dno	186.8	13.48	100.00	0.00
celkem	1385.3	100.00	100.00	



3. Příloha: Pracovní protokol síťového rozboru kameniva z R-materiálu

PRACOVNÍ PROTOKOL

Vypracoval: Simona Kolesniková
Datum: 28.02.2022
Použitá norma: ČSN EN 933-1
Název: Síťový rozbor

Použitý materiál: R-materiál 0/6
Hmotnost vysušeného vzorku: 1000 g
Hmotnost vzorku po očištění kameniva: 995.4 g

Velikost síta	Na síť [g]	Záchyt na síť [%]	Celkový záchyt na sítěch [%]	Propad na sítěch [%]
11.2	0	0.00	79.08	20.92
8	0	0.00	79.08	20.92
5.6	1.8	0.18	79.08	20.92
4	160.7	16.07	79.08	20.92
2	353.8	35.38	79.08	20.92
1	274.5	27.45	79.08	20.92
0.5	142.7	14.27	93.35	6.65
0.25	46.4	4.64	97.99	2.01
0.125	11.7	1.17	99.16	0.84
0.063	3	0.30	99.46	0.54
dno	5.4	0.54	100.00	0.00
celkem	1000	100.00	100.00	