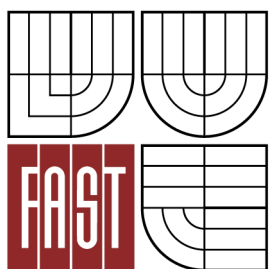




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

MIKROKOBERCE ZA STUDENA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Tomáš Koudelka

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR HÝZL, Ph.D.

BRNO 2012



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 Tomáš Koudelka

Název Mikrokoberce zastudena

Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2011

Datum odevzdání bakalářské práce 25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011



doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu





prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Sborníky s odborných konferencí
Firemní prezentace
Internetové zdroje

Zásady pro vypracování

Cílem práce bude zpracovat problematiku technologie provádění mikrokoberců.

Předepsané přílohy

1. Úvod
2. Teoretický rozbor problematiky mikrokoberců
3. Závěr
4. Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací



.....
Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce



ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na technologii kalových vrstev, konkrétně na mikrokoberce prováděné za studena. V teoretické části jsou rozebrány jednotlivé problematiky týkající se této technologie: složení, výroba, vliv na životní prostředí, skladování, provádění a návrh směsi. Praktická část práce popisuje výsledky získané z provedených zkoušek koheze, opotřebení, konsolidace a štěpitelnosti na směsi mikrokoberce. Při provedených zkouškách se měnila teplota asfaltové emulze a kameniva ve směsi.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kalová vrstva, mikrokoberec, emulze, koheze, štěpitelnost, opotřebení

ABSTRACT

This thesis is focused on slurry surfacing technology, particularly on microsurfacing. The theoretical part describes various issues of this technology: composition, manufacturing process, ecology, storage, making and design of the mixture. The practical part presents results of cohesion tests, wearing tests, consolidation and breaking time that has been performed on the mixture for microsurfacing. During the tests, the temperature of both bitumen emulsion and aggregate has been changed several times.

KEYWORDS

Slurry surfacing, microsurfacing, emulsion, cohesion, breaking time, wearing

KOUDELKA, T. *Mikrokoberce za studena*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební Ústav pozemních komunikací, 2012. 75 s., 8 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Petr Hýzl Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petrovi Hýzlovi, Ph.D. za profesionální vedení při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Zdeňku Komínkovi z firmy Eurovia Services, s.r.o. za poskytnuté materiály, ochotu a cenné rady při zpracování informací a naměřených hodnot. Poděkování patří i paní Marii Šafratové za pomoc při provádění laboratorních zkoušek.

OBSAH

OBSAH	5
1 ÚVOD.....	7
1.1 STRUČNÝ POPIS PRÁCE	7
1.2 CÍLE	7
2 KALOVÉ VRSTVY.....	8
2.1 HISTORIE	8
2.2 KALOVÁ VRSTVA.....	8
2.3 ASFALTOVÉ EMULZE	9
2.4 KAMENIVO	17
2.5 PŘÍSADY	22
3 KALOVÉ VRSTVY A EKOLOGIE.....	24
4 VÝROBA A SKLADOVÁNÍ.....	28
4.1 SLOŽKY VE VÝROBĚ ASFALTOVÉ EMULZE	28
4.2 VÝROBNÍ PARAMETRY	29
4.3 VIZKOZITA A TEPLoty	29
4.4 MATERIÁLY	30
4.5 PŘÍPRAVA FÁZÍ	30
4.6 EMULSIFIKAČNÍ ZAŘÍZENÍ.....	31
4.7 SKLADOVÁNÍ.....	31
5 ZÁSADY PROVÁDĚNÍ, POKLÁDKA.....	34
5.1 PŘÍPRAVA PODKLADU	34
5.2 POKLÁDKA KALOVÉ SMĚSI.....	35
5.3 OBLAST POUŽITÍ MIKROKOBERCŮ.....	39
5.4 ZKOUŠENÍ KALOVÉ VRSTVY.....	44
6 NÁVRH SMĚSI MIKROKOBERCE.....	46
7 LABORATORNÍ MĚŘENÍ.....	49
7.1 ASFALTOVÁ EMULZE.....	49
7.2 KAMENIVO	50
7.3 PŘÍSADY	50

7.4	ZKOUŠKA ŠTĚPITELNOSTI.....	52
7.5	ZKOUŠKA KONSOLIDACE.....	54
7.6	STANOVENÍ KOHEZE SMĚSI	57
7.7	STANOVENÍ OPOTŘEBENÍ SMĚSI	60
7.8	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK PŘI POUŽITÍ VÁPENÉHO HYDRÁTU A CEMENTU	64
8	ZÁVĚR	66
9	SUMMARY	68
10	POUŽITÁ LITERATURA.....	69
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	72
12	SEZNAM GRAFŮ	73
13	SEZNAM TABULEK.....	74
14	SEZNEM POUŽITÝCH ZKRATEK	75
15	SEZNAM PŘÍLOH.....	76
16	PŘÍLOHY	77

1 ÚVOD

1.1 Stručný popis práce

Tato bakalářská práce se bude zabývat použitím technologie **mikrokoberců za studena**, která se používá zejména pro opravu stávajících komunikací. Tato úprava povrchu prodlužuje životnost konstrukce v řádu jednotek let (5-8), zabraňuje šíření a rozšiřování poruch. Také se používá jako těsnicí vrstva vozovkového krytu na nových komunikacích v podobě ohrubné vrstvy zejména na mostní konstrukce, sjezdy a nájezdy dálnic a rychlostní komunikace, kde je potřeba dosáhnout lepších protismykových vlastností vozovky.

Výhodou této technologie je především její menší energetická náročnost, kdy není pro aplikaci této technologie potřeba směs (asfalt) zahřívat na 100-200°C, aby došlo k smíšení s kamenivem, jak je tomu u běžných hutněných asfaltobetonových vrstev. Poskytuje vhodnější podmínky pro dopravu, zpracování a skladování. Při použití speciálních emulzí může dojít k téměř okamžitému zpřístupnění komunikace po aplikaci (cca 30min).

1.2 Cíle

Cílem bakalářské práce je popsat technologii mikrokoberců za studena. V teoretické části bude popisována technologie a její specifika. V praktické části bakalářské práce budou prováděny praktické zkoušky: stanovení opotřebení podle ČSN EN 12274-5 (zkouška abraze) a zkouška stanovení koheze směsi podle ČSN EN 12274-4. Bude sledován vliv teploty emulze a kameniva na dobu štěpení a dobu konsolidace kalové směsi, u vybraných teplot budou provedeny zkoušky koheze a opotřebení.

2 KALOVÉ VRSTVY

2.1 Historie

Kalové vrstvy se poprvé začaly používat v Německu okolo roku 1930, původně se nazývaly mikro-asfaltový beton. Vrstva byla složena z jemného kameniva, asfaltové emulze a vody. Postupně se tato údržbová technologie rozšířila i ve zbytku světa. [1]

Ve Velké Británii se tyto vrstvy poprvé použily v 50. letech jako krytové na přistávacích drahách letišť. Základní složku tvořila kationaktivní emulze, která byla modifikovaná polymerem. [2]

Postupně se technologie vylepšovala, obzvláště emulze, a začala se přidávat aditiva. V Severní Americe se začala technologie používat jako běžný nástroj ochrany obrusných vrstev a jako údržbová technologie. [1]

2.2 Kalová vrstva

„Tenké kalové zákryty jsou povrchové úpravy vozovek zhotovené ze směsi kamenné moučky, drobného a hrubého kameniva a vhodné asfaltové emulze.“ [3]

Rozdíl mezi emulzním kalovým zákrytem a mikrokobercem:

ČSN 73 6130 popisuje emulzní kalový zákryt jako: „Tenká kalová vrstva, která je provedena při použití nemodifikované asfaltové emulze kationaktivní a kameniva s maximální velikostí zrna $D \leq 4$ mm.“ A emulzní mikrokoberec: „Kalová vrstva, která je provedena při použití modifikované asfaltové kationaktivní emulze a minimálně dvou frakcí kameniva (maximální velikost zrna zpravidla $D \leq 1$ mm).“ [6]

To je rozdíl, jak ho definuje česká norma. Pro příklad uvedu ještě rozdělení, podle světových silničních asociací, tabulka. 1, ISSA- The International Slurry Seal Association, AEMA- The Asphalt Emulsion Manufacturers Association, FLHD - A Federal Lands Highway Division. [1]

Tabulka 1 Rozdělení kalových vrstev podle různých silničních asociací [1]

Zdroj	Mikrokoberec	Kalová vrstva
ISSA	Směs kationaktivní polymerem modifikované asfaltové emulze, 100% drčené kamenivo, voda a přísady, vícevrstvá úprava pro opravy vyjetých kolejí.	Směs kameniva, emulze, vody a přísad aplikovaná jednovrstvě, v tloušťce maximálního zrna kameniva.
AEMA	Polymerem modifikovaná vrstva pro rychlou obnovu dopravy, můž být položena ve větší tloušťce než kalová vrstva.	Směs emulze, kameniva, vody a přísad.
FLHD	Štěpení emulze do mikrokoberce je daleko rychlejší než nemodifikované emulze do kalové vrstvy. Umožňuje rychlejší návrat dopravy, vyplnění kolejí, může být položena ve více vrstvách, rapidně zvyšuje tření.	Kalová vrstva může být a nemusí být modifikovaná polymerem, dělají se tloušťky 1-1,5 cm, pomalejší štěpení, pro preventivní ochranu stávajících vrstev proti poškození, může být aplikována ve větších tloušťkách.

2.3 Asfaltové emulze

Afaltová emulze je uhlovodíkové pojivo. Podle ČSN EN 12597 se asfaltové emulze dělí podle náboje dispergovaného asfaltu na anionaktivní a kationaktivní a podle modifikace na polymerem modifikované a nemodifikované emulze. [4]

„Asfaltová emulze je disperzní systém skládající se ze dvou navzájem nemísitelných látek – polotuhého asfaltu a vody.” Asfaltová emulze je přímá emulze tzv. olej ve vodě. Dispergovaná (rozptýlená) část je asfalt a disperzním prostředím je spojité fáze, kterou tvoří voda. Emulze se vyrábí emulgováním v koloidních mlýnech, které se skládají z rychlého rotoru uvnitř a pevného statoru. Při styku vody a asfaltu se na povrchu rozhraní obou fází koncentruje vysoké povrchové napětí, které se snižuje přidáním aditiva tzv. emulgátoru, to způsobuje, že se může asfalt ve vodě volně dispergovat. Zjednodušené uspořádání emulze je na obrázku 4, str. 18. [5]

Velikost mikroskopických částic dispergovaného asfaltu závisí na viskozitě asfaltu, na vzdálenosti rotoru od statoru, na rychlosti otáčení rotoru a na koncentraci emulgátoru. Velikost částic se pohybuje mezi 1-20 μm . Obrázek 1. Při smíchání emulze s kamenivem dojde ke štěpení emulze. S postupným štěpením se vypařuje voda a

z emulze se stává asfaltové pojivo. Obsah asfaltového pojiva v emulzi je maximálně 74%. [8]

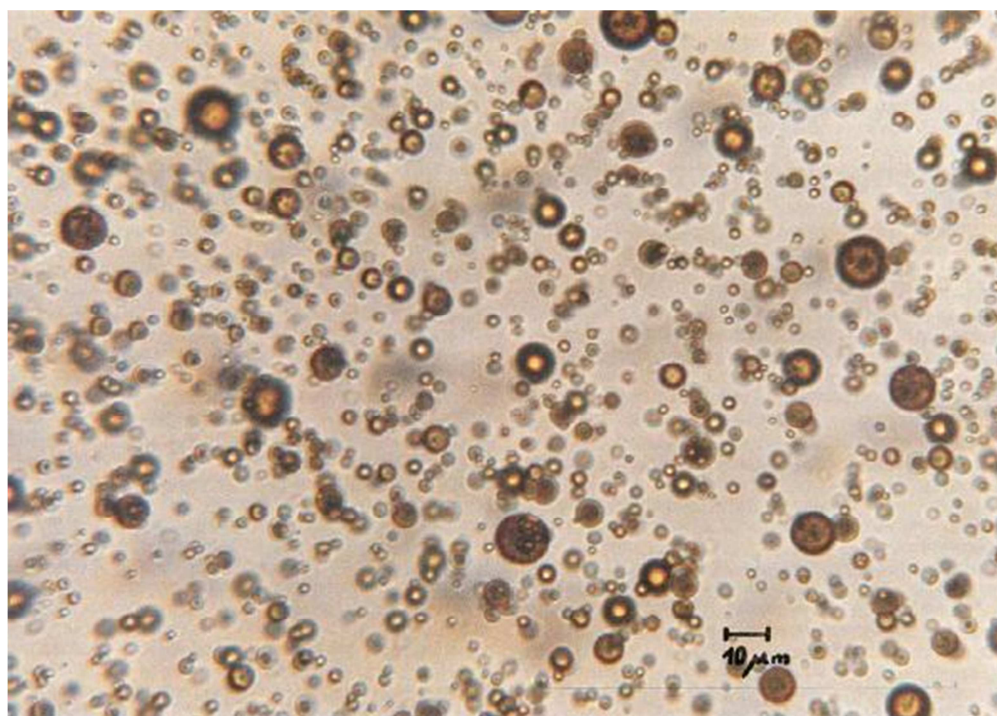
Hlavní složkou pro výrobu asfaltové emulze jsou silniční asfalty s penetrací v rozmezí 50/70 - 160/220. [7]

Asfalty používané do emulzí jsou naftenický a parafinický, parafinický asfalt má nižší kyselost (aciditu), než naftenický. Požadavky na asfaltové emulze používané pro kalové vrstvy uvádí tabulka 2 na straně 14.

Podle druhu povrchově aktivní látky – emulgátoru se rozdělují asfaltové emulze na anionaktivní a kationaktivní. V počátku aplikování technologii kalových vrstev byla více používána anionaktivní emulze. [5]

V silničním stavitelství, počínaje 60. lety 20 století, je tomu naopak a dominanci přebírá kationaktivní emulze. Stále více se také začíná prosazovat polymerem modifikovaná asfaltová emulze. Emulgátory jsou deriváty aminů nebo polyamidů získané z přírodních tuků nebo z olejů. Obvyklý obsah v emulzi je 0,1-2,0%. [10]

Emulgátory zvyšují stabilitu emulze. Čím víc emulgátoru emulze obsahuje tím je silnější neboli koncentrovanější. Koncentrovanější emulze má delší dobu štěpení.



Obrázek 1 Mikroskopická fotografie asfaltové emulze [8]

2.3.1 Doba štěpení asfaltové emulze

Proces štěpení znamená proces oddělování fází. Po dokončení štěpení ztrácí směs zpracovatelnost. Štěpení je nevratný proces. Tento proces probíhá různými rychlostmi. Rychlost štěpení ovlivňují vnější podmínky např. teplota, složení emulze: použitý emulgátor, hodnoty pH spojité fáze (vody), použité kamenivo. [5]

Asfaltové emulze se rozdělují na rychloštěpné, pomaluštěpné a středněštěpné. [5]

Středněštěpné emulze se používají do kalových vrstev. Počátek doby štěpení po položení kalové vrstvy stanovuje norma ČSN 73 6130 na 90 – 300 sekund. Třídu štěpitelnosti uvádí tato norma v rozmezí 5-6. [6]

Třídy štěpitelnosti kationaktivních asfaltových emulzí uvádí příloha 1 dle normy ČSN EN 13808 (tabulka 3 a nově tabulka 4). Štěpení je proces oddělování fází (porušení rovnováhy koloidního systému) a nastává v okamžiku smíchání složek směsi – emulze a kameniva s přísadami. Porušením rovnováhy se emulze stane nestabilní, asfalt se sráží na povrchu kameniva a dalším odpařováním vody dochází ke zpevnění asfaltového povlaku – „tuhnutí emulze“. Při použití kameniva s malou nasákavostí (horniny s vysokým obsahem křemene) do sebe vsakuje malé množství vody, které nestačí porušit rovnováhu koloidního systému, tento problém nastává pouze u anionaktivní asfaltové emulze. [21]

Během štěpení ztrácí směs svou zpracovatelnost a to je počátek konsolidace směsi. Za stav, kdy je směs zkonsolidovaná, můžeme považovat ten, kdy je z povrchu směsi vytlačována pouze čistá voda. Pozn. Štěpení pokračuje v omezené míře i v době konsolidace. V normě ČSN 736130 je konsolidace definována takto: „Doba konsolidace je doba, za kterou je kalová vrstva natolik tuhá a pevná, že je schopna bez poškození přenášet účinky omezeného silničního provozu.“ [6]

Faktory ovlivňující štěpitelnost: druh a množství emulgátoru, jemnost dispergovaných částic (čím je velikost dispergovaných částic menší, tím je pomalejší doba štěpení), hodnota pH vodní fáze, podíl drobných částic kameniva nebo přísad (s větším obsahem jemnějších částic kameniva ve směsi roste celkový měrný povrch a s tím se zkracuje doba štěpení), teplota (vyšší teplota = rychlejší doba štěpení).

Tabulka 2 Vlastnosti asfaltové kationaktivní emulze pro kalové vrstvy. [6]

Parametr	Postup	Hodnocení
Vzhled	Vizuálně	Kapalina hnědé až tmavohnědé barvy bez viditelných vloček vyštěpeného asfaltu
Minimální obsah asfaltu v emulzi pro EKZ, v % hmotnosti emulze	ČSN EN 13808	53
Minimální obsah asfaltu v emulzi pro EMK, v % hmotnosti emulze ³⁾	ČSN EN 13808	58
Zbytek na síť 0,5 mm po 7 dnech, v hmotnosti emulze	ČSN EN 1429	maximálně 0,5
Přilnavost emulze ke kamenivu ¹⁾	ČSN EN 13614	vyhovuje
Průměrná velikost střední částice, $\mu\text{m}_{\text{max.}}$ ²⁾	Mikroskopem	10
Doba výtoku v C2 při 40 °C, v s ²⁾	ČSN EN 12846	15 až 45
Doba výtoku v C4 při 40 °C, v s ²⁾	ČSN EN 12846	3 až 8
Kyselost emulze pH ²⁾ (potenciometricky)	ČSN EN 12850	1,1 až 6,5
Koheze - zkouška kyvadlem pro modifikované asfaltové emulze (EMK) v J/cm ²	ČSN EN 13588	minimálně 0,7
¹⁾ Zkouší se na hrubém kamenivu frakce 8/11 z téže lokality jako kamenivo použité pro EKZ ²⁾ Hodnoty jsou pouze informativní. Variantu metody je nutné volit v závislosti na skutečné viskozitě asfaltové emulze ³⁾ Základní asfaltové pojivo musí splňovat ustanovení ČSN EN 14023		

Tabulka 3 Systém specifikace pro kation aktivní asfaltové emulze - vlastnosti emulzí [25]

Technické požadavky	Norma	Jednotky	Třídy vlastností pro technické požadavky kationaktivních asfaltových emulzí									
			Třída 0	Třída 1	Třída 2	Třída 3	Třída 4	Třída 5	Třída 6	Třída 7	Třída 8	Třída 9
Hodnota štěpitelnosti	EN 130075-1	žádná	NPD	TBR	≤80	50-100	70-130	120 - 180	170 - 230	≥ 220	-	-

Pozn: NPD znamená: Nepožaduje se, TBR znamená: Zaznamenat – výrobce je vyzýván k poskytnutí informací o výrobku

Tabulka 4 Systém specifikace pro kation aktivní asfaltové emulze - vlastnosti emulzí (Připravovaná aktualizace normy ČSN EN 13808) [25]

Technické požadavky	Třídy vlastností r technické požadavky kationaktivních asfaltových emulzí											
	Dokument	Jednotky	Třída 0	Třída 1	Třída 2	Třída 3	Třída 4	Třída 5	Třída 6	Třída 7	Třída 8	Třída 9
Chování při štěpení												
Hodnota štěpitelnosti	EN 13075-1	žádná		< 80	50 - 100	80 - 140	> 120	-	-	-	-	-
nebo Mísitelnost s filerem	EN 13075-2	s		-	-	-	> 90	≥ 180	≥ 300	-	-	-
nebo Mísitelnost s cementem	EN 12848	g		-	-	-	-	-	-	> 2	≤ 2	-

Pozn: tabulka 4 uvádí údaje, které bude obsahovat aktualizovaná norma ČSN EN 13808, ve specifikaci se již objevují hodnoty štěpitelnosti emulze s přísadami (cement, filer), které současná podoba normy ČSN EN 13808 nezohledňuje. Emulze třídy 6 se už řadí mezi pomaluštěpné emulze.

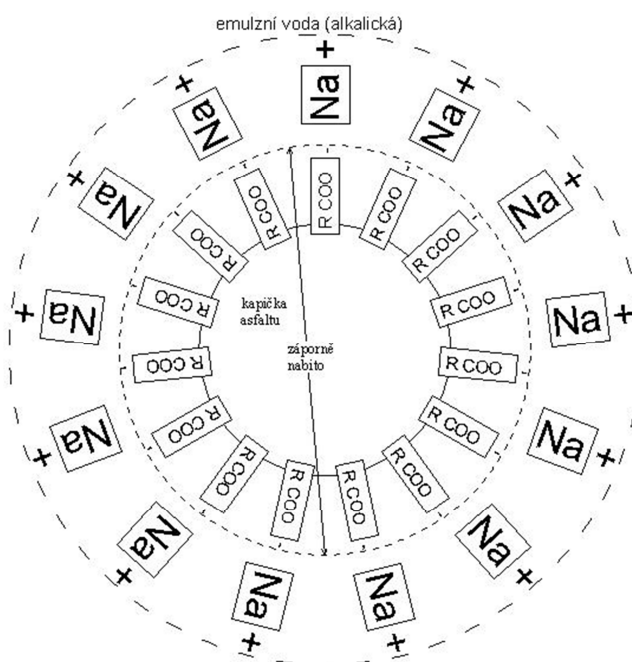
2.3.2 Anionaktivní emulze

V ČSN EN 12597 je popsána anionaktivní emulze jako emulze, v které emulgátor předává rozptýleným částicím asfaltu, na jejímž povrchu je, záporný náboj. [4]

V anionaktivní emulzi tvoří povrchově aktivní látku anionová povrchově aktivní látka. To může být alkalická sůl (mýdlo) nebo vyšší mastné kyseliny, charakteristicky lze znázornit vzorcem $R\text{COON}_a$. Symbol R znázorňuje uhlíkový řetězec s různým počtem uhlíků (12-18). Jádru má záporný náboj a obal tvořený aktivní částí řetězu molekul emulgátoru má kladný náboj. Schéma částice emulgátoru anionaktivní emulze je na obrázku 2. [21]

Při štěpení anionaktivní látky v roztoku vznikají záporně nabitě ionty, $\text{pH} > 7$. Emulze se může míchat pouze se zásaditým kamenivem (např. vápenec). Emulgátory emulze jsou například draselná mýdla nenasycených mastných kyselin nebo alkalické soli mastných a živičných kyselin. Druh emulgátoru se volí s ohledem na požadavky stability, na dobu skladování apod. Doba štěpení emulze je obecně kratší než v případě kationaktivní emulze. [5]

„Anionaktivní emulze vznikají v alkalickém roztoku emulgátoru, a proto jsou nazývány alkalickými (zásaditými).“ [21]



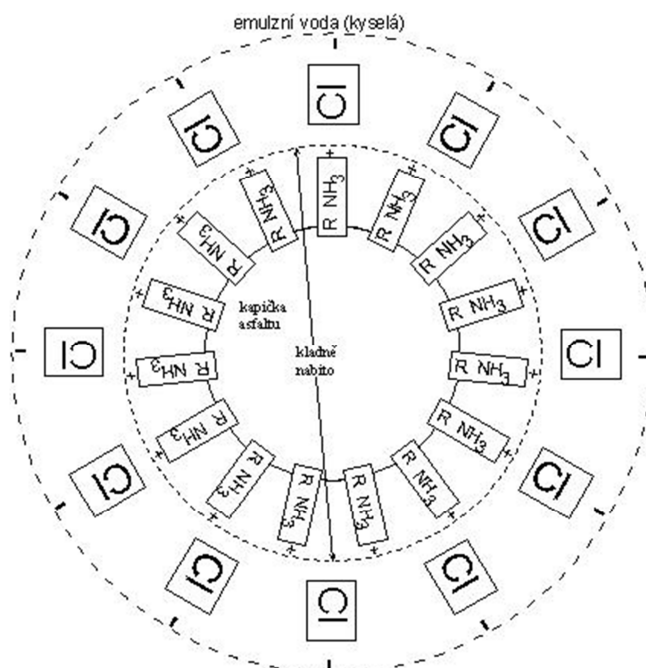
Obrázek 2 Schéma stavby částice anionaktivní asfaltové emulze. [21]

2.3.3 Kationaktivní emulze

Kationaktivní emulze je taková, v které se předá rozptýleným částicím asfaltu kladný náboj. [4]

Emulgátory bývají většinou soli mastných dlouhořetězových aminů, které sloučením s organickou nebo anorganickou kyselinou dávají hydrochlorid $\text{RNH}_3\text{COOCH}_3$. Částičky asfaltů přijímají od emulgátoru kladný náboj, tato schopnost umožňuje přilnout i k mokrému kamenivu. „Emulzní voda následkem hydrolyzy a přebytku kyseliny vykazuje kyselou reakci, a proto bývají tyto emulze nazývané kyselými.“ Schéma stavby částice je znázorněno na obrázku 3. [21]

Štěpení probíhá chemickou reakcí a nemá vazbu na vlhkost kameniva. To je obrovská výhoda, i když se mikrokoberce aplikují většinou „pouze“ do teploty ovzduší 10°C , tato vlastnost umožňuje zrychlit pokládku, kdy není nutné emulzi míchat pouze s vysušeným kamenivem. Nejčastějším emulgátorem kationaktivních emulzí jsou alkylamíny, alkylaminoamidy. [5]



Obrázek 3 Stavba částice kationaktivní asfaltové emulze. [21]

2.3.4 Vhodnost použití jednotlivých emulzí

Vzhledem k odlišně probíhajícímu průběhu štěpení kationaktivních a anionaktivních asfaltových emulzí je rozdílné jejich využití. Anionaktivní emulze jsou vhodné pro použití spolu se zásaditým kamenivem ($\text{SiO}_2 < 52\%$) a suchým kamenivem. Naopak jsou špatně použitelné s kamenivem kyselým ($\text{SiO}_2 > 65\%$) a mokrým kamenivem. Kationaktivní emulze dobře přilnou ke kamenivu kyselému i zásaditému (bazickému). Jejich nevýhodou je, že jsou více náchylné ke koalescenci – spojování jednotlivých částic ve větší celky. Srovnání a vhodnost použití emulzí je v tabulkách 5 a 6. [21]

Kationaktivní emulze tvoří 95% asfaltových emulzí vyráběných v České republice. [27]

Tabulka 5 Srovnání anionaktivní a kationaktivní emulze [21]

ANIONAKTIVNÍ EMULZE	
Výhody	Nevýhody
snadná emulgovatelnost vhodných asfaltů	použití jen se zásaditým kamenivem
vysoký stupeň disperzity a dobrá stabilita	nebezpečí reemulgace při dešti po použití emulze
KATIONAKTIVNÍ EMULZE	
Výhody	Nevýhody
dobrá přilnavost ke všem druhům kameniva	obtížnější emulgovatelnost
rychlé štěpení po styku s kamenivem - snížení nebezpečí reemulgace	náchylnost ke koalescenci

Pozn: reemulgace je obnovení emulgovaných složek po rozštěpené emulze. [5]

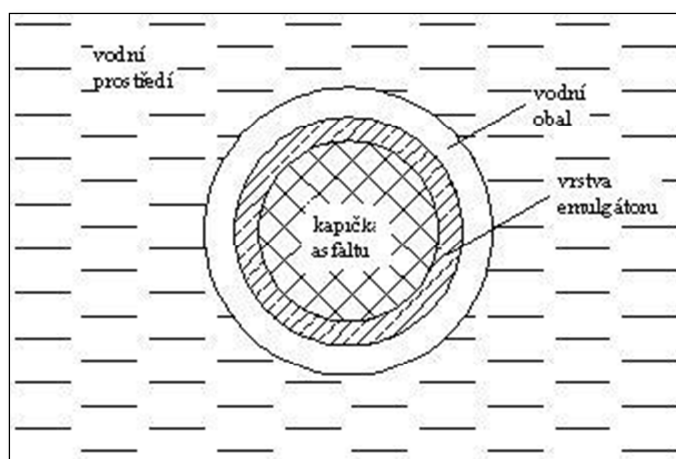
Tabulka 6 Vhodnost použití jednotlivých emulzí [13]

podmínka	emulze	
	kationaktivní	anionaktivní
Malá vlhkost		vhodnější
Velká vlhkost	vhodnější	
Suché zaprášené kamenivo		vhodnější
Prachový vápenec	stejně vhodné	
Nenasákové kamenivo		vhodnější
Rychlé otevření dopravy	vhodnější	

2.3.5 Polymerem modifikované emulze

Modifikace se používá, když chceme zlepšit nebo změnit určité chování, popřípadě vlastnosti (mechanické, chemické) emulze. U emulzí chceme dosáhnout především většího rozsahu teplotní citlivosti asfaltu, udané zkouškou Kroužek kulička a zkouškou bodu lámavosti podle Frasse. Asfaltové emulze se vyrábějí (emulgují) chemicky nebo mechanicky, záleží na typu. Když vyrábíme polymerem modifikované asfalty je nutné polymer přidávat při teplotách nad 150°C, aby se rovnoměrně rozptýlil. Rovnoměrné rozptýlení polymeru se zkouší zkouškou skladovatelnosti podle ČSN EN 1429. Když se při výrobě přidává polymer ve formě latexu, tak se emulze nazývá třífázová. Dvojfázová emulze je taková, u které se při výrobě použije polymerasfalt.[5]

Zjednodušené uspořádání emulze lze zobrazit na řezu rozptýlené kapičky asfaltu obrázek 4. [21]



Obrázek 4 Znárodnění částice emulze - kapička asfaltu ve vodním prostředí [21]

2.4 Kamenivo

Kamenivo použité ve směsi musí splňovat platné předpisy. To je především norma ČSN EN 13043 – Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch. Výrobce kameniva musí zajistit u každého druhu kameniva počáteční zkoušky typu (ITT). Kamenivo musí projít zkouškami: [28]

- **geometrických vlastností:** Zrnitost a obsah jemných částic – ČSN EN 933-1, Kvalita jemných částic – CSN EN 933-9, Tvarový index – ČSN EN 933-4,

Ostrohrannost zrn, drcená zrna, podíl oblých zrn (hrubé kamenivo) ČSN EN 933-5), Posouzení jemných částic – ekvivalent písku ČSN EN 933-8, Posouzení jemných částic – zkouška methylenovou modří ČSN EN 933-9 [28]

- **mechanicko fyzikálních vlastností:** Odolnost proti drcení (LA) ČSN EN 1097-2, Ohladitelnost hrubého kameniva pro povrchové vrstvy ČSN EN 1097-8, Obrusnost ČSN EN 1097-8, Objemová hmotnost zrn ČSN EN 1097-6, Nasákavost ČSN EN 1097-6, Odolnost proti zmrazování a rozmrazování ČSN EN 1367-2 (zkouška síranem hořečnatým) [28]
- **chemickými zkouškami:** Chemické vlastnosti kameniva ČSN EN 1744-1 [28]

Z hlediska potencionálního použití kameniva v liniových stavbách můžeme kamenivo rozdělit do tří hlavních skupin.

Přírodní: V této skupině je zahrnuto všechno kamenivo získané pomocí odstřelu horninového masívu, bagrování a těžení (říční a mořské). Kamenivo takto získané má velmi rozdílné vlastnosti, protože vznikalo za různých horotvorných procesů. Dále se rozděluje na sedimentární, metamorfované, magmatické.

Umělé (syntetické): Toto kamenivo může být produktem průmyslové výroby. U takto získaného kameniva musíme kontrolovat jeho reologické chování, které může být proměnné. Nebo kamenivo, které je vyráběno za účelem dosažení velmi dobrých předurčených vlastností (například ohladitelnost).

Recyklované: Získané z recyklace existující konstrukce (asfaltobetonové vozovky, betonové vozovky aj.) [2]

Podle vzniku zrn dělíme kamenivo:

- Těžené: Zrna jsou zaoblená od účinků vody.
- Drcené: Vzniká drcením kusového kameniva
- Těžené předrcené: Vzniká drcením kusového kameniva nad 2 mm s obsahem drcených zrn. [3]

2.4.1 Sledované charakteristiky kameniva pro kalové vrstvy

Při volbě typu a druhu kameniva pro kalové vrstvy rozhoduje několik faktorů. Aby mohlo být kamenivo použito spolu s asfaltovou emulzí, musí se sledovat:

- Geologie: Sleduje se slučitelnost kameniva s emulzí z pohledu adheze a koheze.
- Tvar: Kamenivo by mělo být drcené, aby došlo k vzájemnému zaklínění zrn. Při použití těžného kameniva by nedocházelo k zaklínění, ale k posunu mezi zrny. Kamenivo použité do kalových vrstev musí být vždy předrcené.
- Čistota: Sleduje se obsah jílovitých, prachovitých a písčitých částic. Přítomnost těchto částic zhoršuje přilnavost kameniva k emulzi.
- Stáří a reaktivita: Nově vytěžené kamenivo má lepší reaktivitu (vyšší povrchový náboj) než staré kamenivo.
- Textura: Čím má mikrotextura vyšší hloubku (nerovný povrch), tím lepší je poté spojení s emulzí a protismykové vlastnosti.
- Houževnatost a odolnost proti abrazi: Kamenivo by mělo mít dobré výsledky ze zkoušky abraze a ze zkoušky ohladitelnosti (PSV), obzvláště to které je používáno na místech, kde často dochází k teplotním změnám (zmrazování/rozmrazování) nebo k posypům chemickými látkami (posypová sůl). [1]

Vlastnosti jakéhokoli kameniva i stejného druhu určuje zdroj (místo těžby), popřípadě kde je kamenivo vyráběno. Proto jsou definovány zkoušky a požadavky na kamenivo. Norma ČSN 73 6130 stanovuje pro kalové vrstvy požadavky na kamenivo - tabulka 7.

Tabulka 7 Kvalitativní parametry kameniva podle ČSN EN 13043:2004 [6]

	VLASTNOST	POŽADAVEK
DROBNÉ KAMENIVO	Zrnitost $D \leq 2$	G_f 85
	Obsah jemných částic f drcené	
	Kvalita jemných částic	MB_F 10
HRUBÉ KAMENIVO	Zrnitost $D > 2$	G_c 85/15
	Tvarový index $D \leq 11$	Sl_{30}
	PSV _{deklar.} pro $D \geq 4\text{mm}$	≥ 53
	PSV _{deklar.} pro $8\text{mm} \leq D \leq 11\text{mm}$	≥ 56

Pozn. Deklarované hodnoty znamenají, že při zkoušce typu kameniva byly naměřené hodnoty PSV vyšší (o 2 díly) než hodnoty udané v tabulce.

2.4.2 Zkoušky kameniva požadované v ČSN 73 6130

Zkouška ohladitelnosti kameniva PSV

Hodnota PSV udává odolnost kameniva proti ohladitelnosti. Simuluje ohlazování kameniva dopravou. Ohlazení kameniva je jednou z vlastností ovlivňující vznik smyku automobilu. Zkušební tělíška tvoří 35-50 úlomků kameniva připevněných k pevné podložce. Zkouška má dvě části.

- 14 vzorků se upne okolo akcelerujícího kola a podrobují se dvou fázím ohlazování kolem. První fáze simuluje mokré podmínky, trvá 3 hodiny a je při nich použit hrubý smírek. Ve druhé fázi se použije jemný smirkový papír, ohlazování trvá 3 hodiny.
- Stupeň ohlazení každého vzorku je měřen pomocí smykové zkoušky kyvadlem

Výsledky udávají hodnotu ohladitelnosti kameniva PSV. Hodnotu tvoří průměr ze čtyř vzorků. Hodnoty PSV se počítají z tohoto vzorce: $PSV = S + 52,5 - C$. Kde S je průměrná hodnota ohlazení 4 zkušebních vzorků a C je průměrná hodnota 4 vzorků ze srovnávacího kamene. [2]

Kvalita jemných částic

Zkouší se k určení množství jílovitých příměsí. Zkušební vzorek frakce 0/2 se ponoří do destilované vody. Do roztoku vstříkneme methylenovou modř a odebereme vzorek, který odkápneme na filtrační papír. Sledujeme, jestli se vytvoří kroužek světle modré barvy o průměru 8-12mm. Hodnota MB vyjádřena v gramech methylenové modře na kilogram 0/2 frakce se vypočte podle: $MB = \frac{V_1}{M_1} \times 10$

M1 je hmotnost zkušební navážky v gramech

V1 je celkový objem vstříknuté methylenové modři v milimetrech [12]

Tvarový index

Udává se u hrubého kameniva a je to poměr délky a šířky u jednotlivých zrn. Zrna, jejichž poměr délky k šířce je větší než tři, se nepovažují za vhodná z důvodu vyšší lámavosti při hutnění. Vzorek nejprve vysušíme na ustálenou teplotu (110±5). Rozčleníme na úzké frakce. Jednotlivé frakce zvažíme. Změříme délku a tloušťku 100 zrn a vyřadíme ty s poměrem větším než 3. Stanovíme tvarový index SI:

$$SI = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

M_2 je hmotnost nekubických zrn v gramech

M_1 je hmotnost zkušební navážky v gramech [12]

Zrnitost

Zkouška spočívá v roztřídění a oddělení frakcí materiálů podle sady sít. Zrnitost získáme síťovým rozborem – metoda za sucha nebo praním. Velikost zkušební vzorku záleží na velikosti maximálního zrna kameniva (např. pro maximální zrno kameniva 5mm je hmotnost zkušební navážky stanovena na 0,6 kg).

Postup zjištění zrnitosti praním: zkušební navážka stanovené hmotnosti se zváží (m_1), navážka se smíchá s odpovídajícím množstvím vody, aby bylo všechno kamenivo pod vodou, vzorek se promíchá a tím se dosáhne oddělení jemných částic. Poté se lije kamenivo s vodou na takzvané ochranné síto (velikost oka 1 nebo 2 mm) a pod ním je umístěno síto velikosti 0,063 mm. Zkoušení trvá do té doby, než je voda protékající sítím 0,063 mm čirá. Zbytek kameniva na ochranném síti a na síti 0,063 mm se vysuší do ustálené hmotnosti (m_2).

Postup zjištění zrnitosti proséváním: vypraný a vysušený materiál se střásá na sadě sít. Postupně se odebírají větší síta a váží se zbytky na nich (hmotnosti $R_1 - R_n$), jemné částice propadnuvší až na dno jsou označovány jako P.

Vyhodnocení: vypočte se hmotnostní podíl všech zůstatků na sítích z celé hmotnosti navážky M_1 v procentech, vypočtou se součtová procenta hmotnosti výchozí navážky propadnuvší jednotlivými síty. [29]

2.4.3 Frakce kameniva

Drobné kamenivo v kalové vrstvě u emulzního kalového zákrytu i u emulzního mikrokoberce má maximální zrno o velikosti 2 mm.

Hrubé kamenivo u emulzního kalového zákrytu se používá frakce 2/4. U emulzního mikrokoberce ho můžou tvořit frakce: 2/4, 4/8, až 8/11. [6]

Zbytkové mezery mezi kamenivem vyplňuje takzvaný filer.

Filer je kamenivo, jehož většina propadne sítím 0,063mm. Jako filer lze používat portlandský cement nebo vápencovou moučku. Toto výplňové kamenivo může měnit průběh štěpení, může neutralizovat ionty emulgátoru, což vede ke kratšímu času štěpení. Portlandský cement má tu vlastnost, že absorbuje vodu z emulze → rychlejší vyštěpení emulze. Plnivo může podporovat i soudržnost směsi, kdy se shlukuje se zbytkovým asfaltem. [1]

Dobu štěpení ovlivňuje druh použitého cementu a jemnost namletí. Další materiál používaný jako filer je: vápenný hydrát (vyhašené vápno) a popílek prodlužující dobu štěpení. Kamenná moučka použitá ve směsi musí být suchá a bez shluků. Filer se může považovat i za přísady směsi.

Vápenný hydrát Ca(OH)_2 jako modifikační přísada zlepšuje funkční vlastnosti, především přilnavost, omezuje tvorbu trhlin následkem stárnutí, mrazu a únavy. Mění chování jílovitých částic – zlepšuje stabilitu a trvanlivost kameniva s obsahem jílovitých částic. Ovlivňuje stárnutí směsi, snižuje účinky stárnutí směsi oxidačním účinkem. [18]

2.5 Přísady

Přísady se užívají především na regulaci doby štěpení, zpomalování a zrychlování, obzvláště když stoupá nebo klesá teplota během dne k maximálním dovoleným hodnotám, kdy se může směs pokládat. Norma ČSN 73 6130 udává pouze dolní hranici teploty ovzduší 10°C, kdy lze ještě provádět pokládku směsi. [6]

Teploty ovzduší, kdy lze směs pokládat se v jednotlivých zemích liší, nejnižší dovolená teplota může být i nižší, ve Velké Británii je tato teplota ovzduší stanovena na 5 °C. [2]

Přísady musí být spolu s emulzí podrobeny průkazným zkouškám. Druh a množství přísad si určuje sám výrobce. [3]

V normě ČSN EN 12273 se ve stati o systému řízení výroby u výrobce (FPC) v odstavci A.3.3 Odpovědnost a pravomoc píše: „Odpovědnost a pravomoci pracovníků musí být definovány u pracovníků, kteří mají pravomoc:“ [9]

- Upravovat návrh a přizpůsobit jej stavu komunikace a místním podmínkám životního prostředí.

- Stanovit, zda kalová vrstva odpovídá požadavkům stanoveným v ČSN EN 12273. [9]

To znamená, že o použitém množství přísad se v některých případech může rozhodovat až na staveništi podle aktuálních klimatických podmínek. [9]

Jako přísady se používají: síran amonný, anorganické soli, aminy, sulfát hliníku a borax.

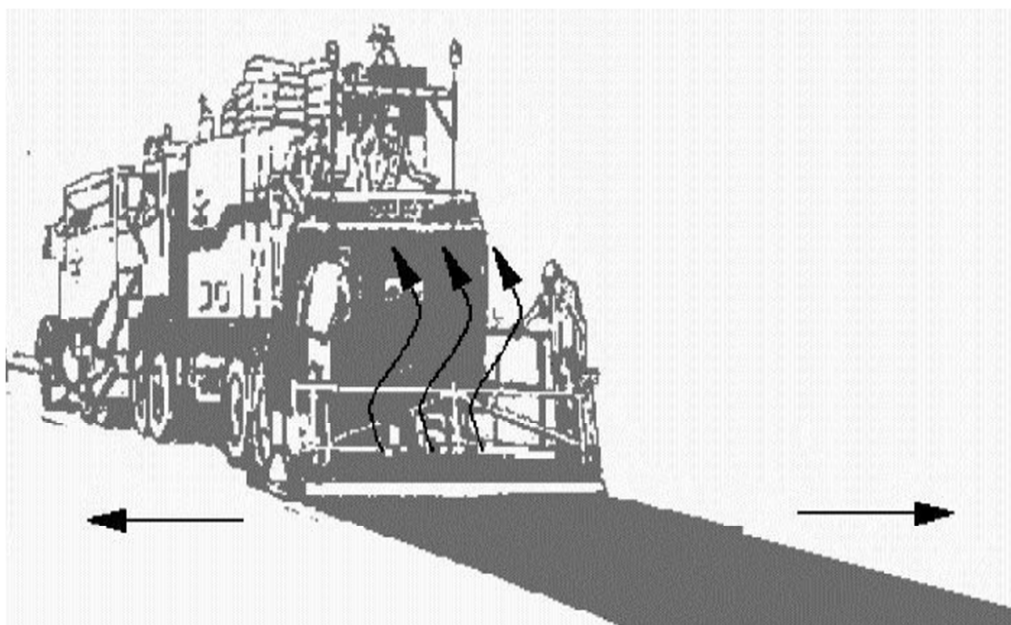
[1]

3 KALOVÉ VRSTVY A EKOLOGIE

V posledních několika letech se tato oblast stává čím dál významnější. Ekologická opatření jsou často finančně náročná a technologie, která nevyžaduje přílišná opatření proti znečištění při aplikaci, příliš mnoho strojů pro pokládku a která není energeticky náročná, se tak jeví jako nejvýhodnější. Samozřejmě s ohledem na omezený rozsah té které technologie na příslušný účel. Mnoho z těchto aspektů technologie kalových vrstev splňuje. Technologie „za studena“ má také nižší energetické nároky než konvenční technologie, jako např. běžná obalovaná směs.

U kalových vrstev je s ohledem na ekologii nejnebezpečnější část asfaltové emulze emulgátor, což je povrchově aktivní látka. Emulgátor tvoří látky, které jsou zařazeny mezi průmyslové škodliviny, nikoli mezi toxické látky. Můžou poškodit sliznice nebo kontaminovat jílové půdy. Možný způsob úniku škodlivých látek je na obrázku 6. [10]

Maximální objem výpar rozpouštědel je stanoven při práci s těmito látkami na 1000 mg/m^3 . Tato koncentrace by v práci mimo uzavřené prostory neměla nikdy nastat. [6]



Obrázek 5 Možný únik škodlivin do ovzduší [10]

Emise vznikající při studeném procesu jsou především volné chemikálie odpařující

se do ovzduší nebo chemikálie, které se odpařují ze směsi během štěpení po smíchání kameniva, emulze, emulgátoru, přísad a regulátorů štěpení.

Při zjišťování koncentrace škodlivin v ovzduší nebyla zjištěna přítomnost emulgátoru vůbec. Hlavní prvkem zaznamenaným při měření byl čpavek v koncentraci 0,02 ppm a dále alkylaminy 0,2 ppb. Tyto koncentrace jsou 1/1000 povolenou normou pro čpavek a deriváty aminů. Z těchto hodnot vyplývá, že okolí není vystaveno nebezpečným hladinám škodlivin v ovzduší.

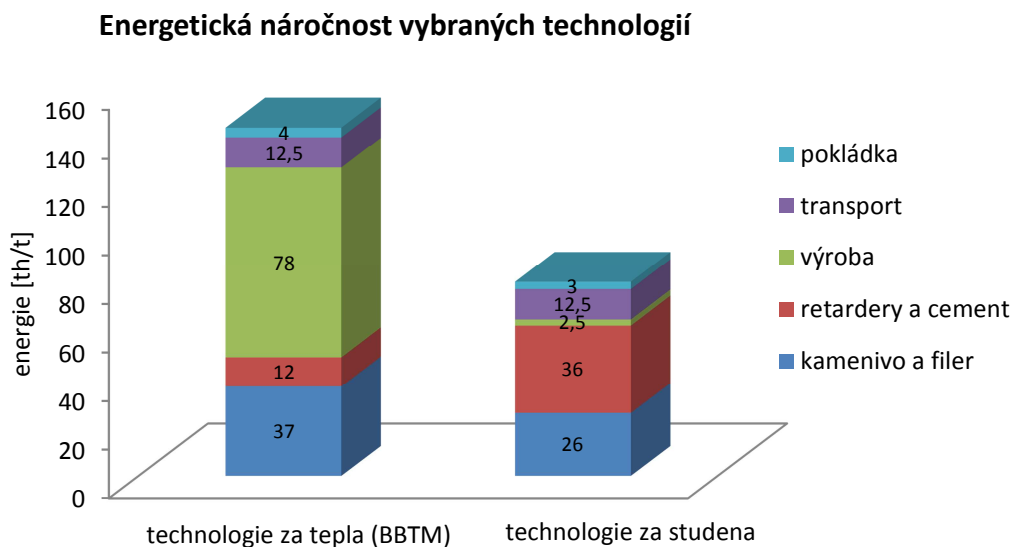
Při úniku škodlivin do vody, kdy se do vody emulgátor může dostat spolu s odtékající odštěpenou vodou, nepřekročily naměřené hodnoty 0,5ppm. Obsah emulgátoru ve vodě se pohybuje v desetinách gramu na litr. Při měření po 5 minutách od smíchání složek směsi byla zjištěná koncentrace 0,3 mg/l.

Únik emulgátoru spolu se záměsovou vodou do okolního prostředí kontaminuje pouze bezprostřední okolí, protože emulgátory jsou při styku se zemínou silně adsorbovány. To znamená, že pohyb emulgátoru v půdě je téměř nemožný. [10]

3.1.1 Energetická náročnost

Reálná energetická náročnost je mezi různými technologiemi značně rozdílná. To dokumentuje graf 1.

Graf 1 Energetická náročnost vybraných technologií. [7]

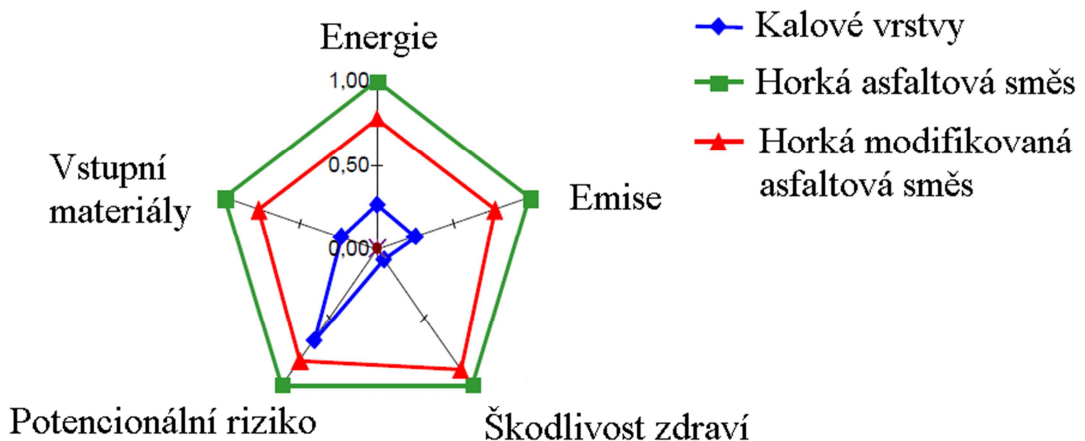


Poznámka: 1 [th] = 1,16 [kWh]

V grafu 1 je porovnávána celková energetická náročnost mezi studenou a teplou aplikací tenkých krytových vrstev. Při použití technologií za studena je energetická náročnost $1,72 \text{ kWh/m}^2$ (při použití 20 kg/m^2). U technologie tenkých vrstev za tepla (např. BBTM tloušťky 1-2 cm) to je $6,02 \text{ kWh/m}^2$ (při použití 50 kg/m^2). [7]

Společnost Basf corporation pod vedením dr. Takamuri provedla výzkum (od roku 1998-2000), který porovnává různé environmentální vlivy a dopad na životní prostředí. Výzkum byl prováděn při údržbách stávajících komunikací. Do grafu zahrnuje celý životní cyklus (podobně jako v grafu 1.) počínaje získáním surové ropy, rafinací, přidáním aditiv a produkci kameniva. Dále zohledňuje množství odpadních materiálů, jejich možnou recyklaci a nakonec distribuci a transport na stavbu. Tyto parametry charakterizuje do 5 bodů. Vstupní materiály, Energie, Emise, Potenciální zdravotní riziko při nesprávném použití a Škodlivost zdraví. Zobrazeno v grafu 2.

Graf 2 Environmentální působení technologie za studena za tepla. [11]



Výzkum předpokládal 7 letou životnost tenké kalové vrstvy, životnost horké asfaltové směsi 10 let a životnost polymerem modifikované asfaltové směsi 13 let. Pokládka všech směsí byla provedena na již existující vozovce. Dopady na životní prostředí jsou předpokládány za celou dobu životnosti. To zahrnuje náklady na údržbu jednotlivých technologií, na výstavbu, energie aj. Výsledkem výzkumu je, že tenké kalové vrstvy poskytují lepší rovnováhu mezi náklady a dopadem na životní prostředí. [11]

3.1.2 Fluxované asfaltové emulze

Při manipulaci s emulzemi s obsahem fluxantů je nutné dodržovat zásady, které jsou uvedeny v bezpečnostním listu výrobku. Asfaltové emulze obsahující fluxanty poškozují zdraví především při styku s pokožkou a při vdechování uvolněných výpar. [6] Fluxanty se přidávají při nutnosti změkčení asfaltů, aby bylo dosaženo předepsaného stupně penetrace. [18]

3.1.3 Ochrana životního prostředí

„Podle zvláštních předpisů je každý zhotovitel povinen dokladovat, že materiály použité kalové vrstvy nejsou nebezpečné pro životní prostředí.“ [6]

Použité materiály musejí být v souladu s Nařízením č. 1907/2006 Evropského parlamentu (REACH). [26].

Dále norma ČS 73 6130 uvádí, že musí být věnována pozornost zvýšené hlučnosti spojené s použitím stavebních strojů, obzvláště při provádění v intravilánu. Při manipulaci se škodlivými látkami na staveništi je zhotovitel povinen postupovat podle zvláštních předpisů. [6]

4 VÝROBA A SKLADOVÁNÍ

4.1 Složky ve výrobě asfaltové emulze

Asfalt

Asfalt je produktem rafinerií. Základní přísada použitá při emulsifikaci, asfalt, ovlivňuje (vylepšuje, zhoršuje) stabilitu emulze a adhezi. Vlastnosti silničních asfaltů musí splňovat normu ČSN EN 12591. Modifikovaná pojiva musí splňovat požadavky stanovené v ČSN EN 14023 a vyrobená emulze musí vyhovovat požadavkům stanoveným v ČSN EN 13808. [6]

Na výrobu emulze se používají tyto asfalty: nemodifikované – C60B6, C60B5 nebo modifikované - C65BP5, C65BP6, C60BP5, C60BP6.

Voda

Voda musí obsahovat co nejméně cizorodých organických látek a minimum minerálů. Při výrobě kalové směsi se používá záměsová voda, která musí vyhovovat požadavkům pro výrobu betonu podle ČSN EN 1008. Použité množství závisí na vlhkosti a zrnitosti použitého kameniva, popřípadě na volbě a množství použitých přísad. U emulzního mikrokoberce by mělo odpovídat množství vody 8 procentům hmotnosti suchého kameniva. [6]

Emulgátor

Běžnými emulgátory jsou aminy. Jsou používány k ovlivnění manipulační doby a skladování. Zabraňuje samovolnému spojování částecek asfaltu v emulzi a následně jejímu vyštěpení. [6], [7]

Kyselina

Používá se proto, že emulsifikátory jsou nerozpustné ve vodní fázi. Kyselina je umožňuje přeměnit na soli, aby se mohli dispergovat. Používá se většinou 20-22° kyselina chlorovodíková. Při použití emulze například na spojovací postřiky na betonových mostech se používá kyselina fosforečná, protože neobsahuje, tak jako kyselina chlorovodíková, chlorové ionty, které způsobují při styku s betonářskou

výztuží její korozi. [7]

Ředidla

Jsou produktem rafinerií. Mají malou viskozitu (0/1 – 10/15). Používají se při zkapalnění asfaltu. Dříve se používaly například dehty. Ty už se dnes nesmějí používat pro svou zdraví škodlivost a závadnost při úniku do prostředí. [7]

4.2 Výrobní parametry

K rozptýlení asfaltu může dojít chemicky nebo mechanicky. Mechanická energie rozptýlí asfalt na jemné částičky, „jemnost“ emulze se zvyšuje rychlostí rotování rotoru, tato metoda se používá při výrobě v koloidním mlýnu. Při chemickém dispergování je potřeba zajistit aby došlo k vytvoření ochranného filmu okolo dispergovaných částiček, musí se také snížit napětí mezi částičkami asfaltu a vodní fází, což usnadňuje emulsifikaci. [7]

4.3 Viskozita a teploty

Aby se umožnilo dispergování asfaltového pojiva ve vodní fázi, je nutné, aby byla viskozita relativně malá. Optimální viskozita je 200 mPa.s (dynamická viskozita), které je dosaženo udržováním pojiva v teplotě, která závisí na stupni penetrace. Tyto teploty jsou zobrazeny v tabulce 8.

Tabulka 8 Požadovaná teplota asfaltu v závislosti na penetraci. [5]

Penetrace	Teplota asfaltu [°C]
180/220	140
80/100	150
40/50	160

Jestliže nejsou tyto teploty dodržovány a jsou překračovány, začne docházet k nevhodným jevům. Například když emulze opouštějí mlýn za atmosférického tlaku a teploty vyšší než 95°C vyvře „jako mléko“.

Výroba vodní fáze požaduje, aby byla teploty vody okolo 40°C a proto je nezbytné, aby teplota pojiva nepřekročila určený limit. Je jednoduché pravidlo, které platí pro

60% emulzí.: Výsledná teplota vodní fáze a dispergovaného asfaltu nemá dohromady přesáhnout 200°C

Některé modifikované emulze je nutno vzhledem k teplotě vstupního asfaltu (až 175°C) vyrábět pod tlakem několika barů a následně ochladit, aby se preventivně zamezilo vyvření vodní fáze. [7]

4.4 Materiály

Asfaltová emulze může být vyráběna z asfaltů o různé penetraci. Abychom mohli při výrobě použít asfalty o různé penetraci, musíme zajistit dostatečný počet skladovacích nádrží. Běžné hodnoty penetrace jsou v rozmezí hodnot 50/70- 160/220. Asfalt může být do emulgační stanice dodáván přímo, pokud je blízko rafinerie, nebo pomocí cisterny. Použité asfalty uvádí norma ČSN EN 13108. Při přejímce z rafinerie do emulgační stanice se vyžaduje odběr vzorků asfaltu, aby mohla být zkontrolována kvalita. Emulgační stanice provádějí zkoušky bodu měknutí Kroužek kulička a zkoušky penetrace.

Kyselina se dodává do emulgační stanice ve velkém množství. Stanice musí mít vlastní skladovací nádrže s vhodnou kapacitou, vyrobené by měli být z materiálu nepodléhající korozi. Při dopravování ze zásobníků do výrobní stanice je nařízeno dodržovat všechny bezpečnostní předpisy, aby při manipulaci nedošlo k úniku.

Voda použitá do asfaltové emulze může být z různých zdrojů, z veřejného vodovodu, studní aj. Voda se čerpá do mezizásobníků, které můžou být vybaveny ohřívacím zařízením. Měly by mít dostatečnou kapacitu, aby se vyhovělo okamžitým potřebám stanice. Schéma emulgační stanice je na obrázku 6, strana 33. [7]

4.5 Příprava fází

Disperzní fáze se skládá z vody a emulgátorů. Nejčastěji se používají aminy hydrochloridů pro kationaktivní emulzi, ta je dnes nejčastěji používanou asfaltovou emulzí. Disperzní fáze se může připravovat dvěma způsoby.

První způsob je takový, že se emulgátor a kyselina přidají do vody v přesně určeném množství. Takový způsob přípravy se nazývá jednorázový. Druhý způsob je

postupný, kdy se v první fázi vytvoří koncentrát, který obsahuje kyselinu a emulgátor v převažujícím množství oproti vodě. V druhé fázi se smíchá koncentrát s horkou vodou, aby složení odpovídalo požadované receptuře. Při přípravě je nutné sledovat, dávkování jednotlivých složek, správné smísení a teplotu vody.

Příprava dispergované fáze. Může se dispergovat čistý asfalt nebo asfalt předem smíchaný s ředidly, fluxanty nebo s asfalty s přísadou polymerů, potom nazýváme výslednou emulzi jako modifikovanou. [7]

4.6 Emulsifikační zařízení

Nejčastějším a nejvýkonějším zařízením pro výrobu asfaltových emulzí jsou koloidní mlýny. Hlavní funkcí koloidního mlýnu je rozptýlit dispergovanou fázi. Minimální hodnota velikosti dispergovaných částic, která se může touto metodou dosáhnout, je 0,0006mm. Parametry ovlivňující velikost dispergovaných částic: velikost mezery mezi rotorem a statorem mlýnu a rychlost otáčení lopatek statoru. Koloidní mlýny jsou obecně schopny během hodiny vyrobit 7-10 tun asfaltové emulze. [7]

4.7 Skladování

Emulze je „studeným“ výrobkem a může se skladovat až několik měsíců bez jakékoli změny jejích vlastností. U emulze není potřeba při skladování udržovat zvýšenou teplotu jako například u běžných asfaltových směsí. Běžná skladovací teplota se pohybuje v rozmezí 10 – 85 °C. Záleží na účelu použití emulze. Tato vlastnost umožňuje vyrábět více emulze, než se právě spotřebovává na staveništi. Každý druh emulze musí být skladován ve vlastní nádrži. Buď ve výrobním závodu nebo na staveništi. Při smíchání rozdílných emulzí – anionaktivní s kationaktivní by došlo k flokulaci emulze. [7]

4.7.1 Problémy při skladování

Při skladování emulzí může docházet k těmto jevům: sedimentace, flokulace nebo koagulace. Sedimentace je proces, při kterém částičky asfaltu účinkem gravitace klesají na dno nádrže. Sedimentace nastává z důvodu rozdílných hustot asfaltové a vodní fáze.

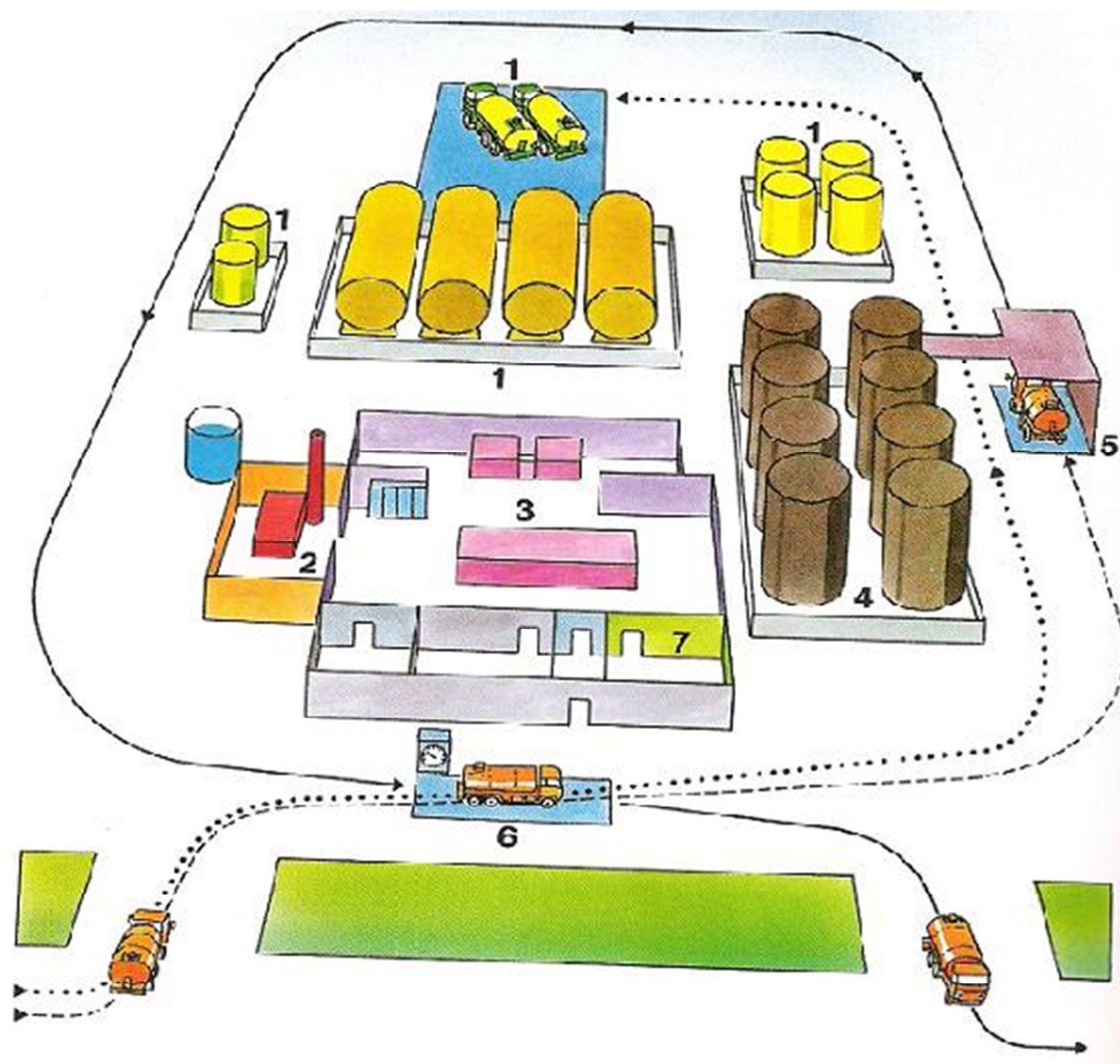
Při delší době může docházet k usazování asfaltu při hladině, tento jev se nazývá krémování. Flokulací emulze je srážení koloidů, při kterém dochází k sedimentaci malých částic, někdy se nazývá vločkování. Koagulace je proces, při kterém se menší částičky asfaltu shlukují do oddělených, ale větších částíček. Díky zvětšování částíček se urychluje sedimentace. Těmto jevům zabráníme promícháváním emulze během skladování. [7]

Při skladování se provádí zkoušky skladovatelnosti podle ČSN EN 1429. Skladovatelnost je schopnost emulze udržet si během skladování požadované vlastnosti. [4]

Dalším omezením je minimální teplota, při které se může emulze skladovat, ta se pohybuje okolo 2-3 °C. Když by teplota klesla níže, začne docházet k oddělování fází emulze. V nádrži se vytvoří dvě vrstvy. Při překročení 95°C asfaltová emulze vyvře – začne docházet k odpařování vody. [5]

4.7.2 Skladovací nádrže

Nádrže jsou vyrobeny z nerezavějící oceli, obvykle jsou vybaveny vyhřívacím zařízením. Vzhledem k sezónnosti výroby emulze květen – říjen, není vyhřívací zařízení bezpodmínečně nutné. Vertikální skladovací nádrže jsou vhodnější, emulze má menší povrch na styku se vzduchem než v horizontální nádrži. [7]



Obrázek 6 Schéma prostor emulgační stanice [7]

1. Vstupní materiály a skladovací prostory
2. Topná tělesa k udržování operační teploty vstupních materiálů, čerpadla, zdroj energie
3. Zařízení emulzní stanice
4. Sklad hotových produktů
5. Zařízení pro plnění cisteren
6. Vážící zařízení
7. Inspekční laboratoř

5 ZÁSADY PROVÁDĚNÍ, POKLÁDKA

Kalové vrstvy obsahují asfaltové složky, z toho plyne citlivost směsi na okolní teploty, teploty povrchu, vlhkosti aj. Směs obsahuje i vodu, proto je teoretické použití omezeno na kladné teploty.

Podmínky kladení stanovuje příslušná norma ČSN 73 6130. Emulze může být smíchána s vlhkým kamenivem a směs může být rozprostírána na vlhký podklad. Minimální teplota ovzduší při pokládce by neměla klesnout pod 10°C. Přičemž teploty z předchozích 24 hodin by neměly klesnout pod 5°C. Tendence teploty by měla mít stabilní nebo zlepšující se charakter. Optimální teplota pokládky se pohybuje v rozmezí 15°C – 25°C. Základní předpoklad je, aby při pokládce byla dodržena stanovená doba štěpitelnosti.[6]

Teploty, při nichž se aplikují kalové vrstvy se ve světě různě liší. To vychází zejména z rozdílných klimatických podmínek určitého území. Ve Spojených státech se například předepsané hodnoty pohybují v rozmezí 7°C (Michigan) – 21°C (Kansas). [1]

5.1 Příprava podkladu

Podklad musí být pevný únosný, rovný a čistý. Tzn. s předstihem pokládky musí být zajištěno opravení stávajících trhlin, dutin spár a nerovností dle TP 115. Při provádění je dovolená maximální hloubka podélných a příčných nerovností stanovena na 8mm u TDZ S, I – III a 10 mm u TDZ IV – VI. [6] Měly by být odstraněny vysprávký tryskovou metodou dle TP 96, při nichž mohlo být použito ředěných asfaltů, které mohou zapříčinit degradaci nanesené kalové vrstvy. [14]

Nečistoty ze stávajícího povrchu se odstraní tlakovou vodou pomocí kropícího zařízení nebo mechanickým kartáčováním. Přičemž musí dojít k odstranění všech organických nebo jílovitých látek z povrchu. Je nutné opravit nezpevněnou krajnici, aby byl umožněn odtok vyštěpené vody a aby při přejezdu pokladače nedošlo k zamíchání zeminy z krajnice do vlastní směsi. Nedostatečné odstranění znečištění může vést ke znehodnocení směsi kalové vrstvy. Dále se vhodným způsobem zakryje nebo odstraní vodorovné dopravní značení. Současně s tím zakryjí vodovodní vpusti, inženýrské sítě,

mostní závěry apod. K tomu se používá např. dehtová lepenka nebo silný papír.

Norma ČSN EN 73 6130 požaduje, aby před započítáním prací došlo k souhlasu objednavatele s připraveností podkladu. [6]

Při aplikaci kalové vrstvy na betonový, kamenný, dlažební nebo odfrézovaný podklad se zhotoví spojovací postřík z asfaltové kationaktivní emulze pro spojovací postříky v množství $0,20 \text{ kg m}^{-2}$ – $0,30 \text{ kg m}^{-2}$ zbytkového pojiva. Toto zbytkové množství pojiva je poté nutné zohlednit při stanovení obsahu pojiva v kalové vrstvě. [6]

5.2 Pokládka kalové směsi

Možné způsoby pokládky kalové vrstvy jsou:

- pokládka na plnou šířku jízdního pruhu
- vyplnění podélných kolejí
- ruční použití (pouze v místech nedostatečného manipulačního prostoru)

Nejčastější je metoda na celou šířku jízdního pruhu, kdy je směs na povrch rozprostírána rámem. Obrázek č. 6 zobrazuje pokládku čerstvé kalové vrstvy.

Tloušťka pokládané kalové vrstvy se pohybuje mezi 4-20 mm, to se odvíjí od použité směsi, potažmo použitého maximálního zrna kameniva. Tloušťka vrstvy nepřevyšuje maximální velikost zrna kameniva o více než 50% u emulzního kalového zákrytu to je 25%. [5]

Výroba, zpracování a rozprostírání kalové směsi by mělo být co nejkratší, protože proces štěpení nastává okamžitě při smíchání jednotlivých složek směsi, tzn. během výroby. Jak můžeme vidět na obrázku 7, čerstvě rozprostřená kalová směs má hnědou barvu. Minimální dobu štěpení zabezpečující dostatečný čas pro aplikaci kalové vrstvy stanovuje norma ČSN 73 6130 na 90 sekund. Během procesu štěpení mění směs barvu postupně přes tmavě-hnědou až po černou, jak můžeme vidět na obrázku 2 vpravo dole, kde je již vyštěpená zkonsolidovaná vrstva.

Když je vrstva zkonsolidovaná, tzn. když se z povrchu vrstvy vytlačuje pouze čistá voda, je možné obnovit dopravu při omezených podmínkách (obvykle rychlost do 40km/h, na dálnici 60km/h), dále je nutno úsek označit značkou upozorňující řidiče na odletující kamenivo a na snížené protismykové vlastnosti. [6]



Obrázek 7 Kladecí rám při pokládce čerstvé směsi [19]

V tabulce 9 se uvádí minimální hmotnosti dávkování pokládání směsi.

Tabulka 9 Minimální hmotnosti dávkování směsi [6]

Typ směsi	Min. hmotnost kg/m ²
0/4	10
0/5	12
0/8	16
0/11	20

Aby se dosáhlo požadovaných funkčních charakteristik stanovených v ČSN EN 12274 je nutné splnit tyto požadavky:

- čistota podkladu
- přípravné práce podle povětrnostních podmínek
- shodnost nakupovaného materiálu s požadavky specifikace
- identifikace materiálů
- používání provozních materiálů

- provádění kalové vrstvy vyškolenými pracovníky
- systém pro zpracování a zohlednění jakýchkoli změn nařízených autorizovanou osobou
- záznam o stavu povrchu vozovky před provedením kalových vrstvy a o jakýchkoli lokálních změnách požadavků návrhu
- postup a časový rozvrh pro informování objednatele o jakýchkoli problémech, které by mohly ovlivnit práce (problémy, které mohou vyžadovat odchylky od původní specifikace)
- činnost pro údržbu kalové vrstvy do doby předání objednavateli [9]

5.2.1 Zásady při pokládce

- Udržovat čistý kontinuální míchač, v případě nahromadění nebo zatvrdnutí předčasně vyštěpené směsi v míchači může dojít k porušení souvislosti vrstvy nebo ke vzniku podélných vlnek.
- Dohlížet na boční unikaní směsi z kladečního rámu.
- Rychlost pokladače by měla být konstantní. Zvýšení rychlosti může způsobit vibrace nebo poskakování kladečního rámu, tím může dojít ke zvlnění nebo k nerovnoměrnému rozprostření směsi.
- Při pokládce více vrstev je nutné posunout pracovní spáry (podélné a příčné) nejméně o 0,5m.
- Při pokládce dvou a více pruhové komunikace je možné provést připojení sousedního pruhu až po konsolidaci pruhu sousedního. Překrytí sousedních pruhů by mělo být co nejmenší.
- Při pokládce dvouvrstvého mikrokoberce je nutné první vrstvu uhutnit (vytlačit přebytečnou vodu). Uhutnění se provádí pomocí 4-6 pojezdů pneumatikového válce do 5 minut po pokládce směsi.
- Při pokládce na povrch s nedostatkem pojiva je nutné provést před pokládkou infiltrační postřik. Při pokládce na cementobetonovou nebo dlážděnou vozovku je nutné provést spojovací postřik [1]

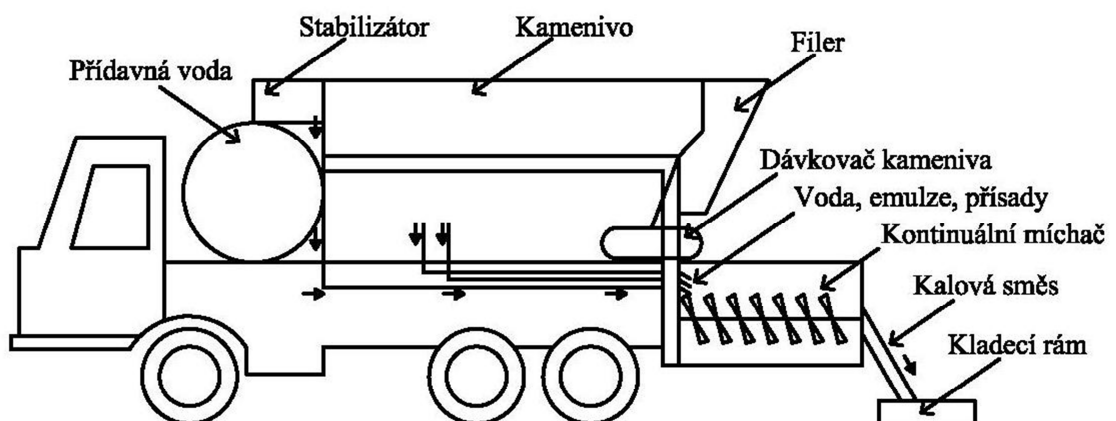
Během provádění je nutné provádět kontroly kalové vrstvy uvedené v ČSN EN 12273 a to: Kontrola skladovacích prostor, Kontrola skladovacích nádrží, Kontrola množství

materiálu (asfaltové emulze, kameniva aj.) Povětrnostní podmínky (zda jsou vhodné k pokládce), Příprava (příprava podkladu pro kalovou vrstvu), Stanovení obsahu zbytkového pojiva, Stanovení pokládaného množství, Zjevné vlastnosti (kontrola vzhledu, zda odpovídá normálu). [9]

Před pokládkou je nutné provést kalibraci přesností dávkování jednotlivých složek směsi (kamenivo, emulze, přísady) a rovnoměrnosti pokládky. Norma ČSN 73 6130 připouští odchylku 5 % hmotnosti dávkovaného pojiva. Při vlastní pokládce je dovolená odchylka ve skutečném množství složek v rozmezí ± 15 % hmotnosti od předepsaného množství. [6]

5.2.2 Popis pokladače

Na obrázku č. 8 je znázorněno schéma pokladače kalové směsi. Zásobník kameniva má obsah 10 - 15 tun. Zásobník emulze 2 – 3 tuny. Přísun kamenné moučky, cementu nebo vápna je prováděn pomocí šnekových podavačů. Na dávkování kameniva se používá pásový váhový podavač. Emulzi, vodu a stabilizátor je dopravován pomocí průtokových dávkovačů. Kontinuální míchač se skládá z hřídele s lopatkami a je vybaven výpustným žlabem, který ústí do středu kladecího rámu. Kladecí rám má nastavitelnou šířku podle pokládané vrstvy (až 3,5 metru). Na spodní hraně je opatřen gumovými nebo ocelovými lištami, které zajišťují uhlazení vrstvy. Rovnoměrné rozdělení směsi v kladečím rámu zajišťuje šnekové rozdělovače. [3]



Obrázek 8 Pokladač kalové směsi [1]

Při použití kladečních rámců pro vyplnění podélných kolejí musí být dosaženo toho, aby byla hrubší frakce kameniva umístěna do nejhlubší části vyjeté koleje a aby bylo drobné kamenivo rozprostřeno na okrajích. [26]

Kladeční rám pro použití při vyplňování podélných kolejí je na obr 9, str. 42.

5.2.3 Pomocné stavební stroje

Všechny stavební mechanismy včetně pokladače směsi musí být odsouhlaseny objednavatelem a ovládány způsobilým personálem. [14]

- Zametač
- Kropicí vozidlo
- Nakladač kameniva
- Nákladní vozidla na přívoz kameniva
- Cisterna na emulzi
- Válec – pneumatikový (rychlost pojezdu 6-10 km/hod)

5.2.4 Omezení silniční dopravy

Pokládka kalových vrstev je prováděna za omezeného silničního provozu. Provoz lze uvolnit nejdříve:

- Emulzní kalový zákryt – po jedné hodině od zhotovení, maximální doba obnovy dopravy činí hodiny.
- Emulzní mikrokoberec – po dvaceti minutách, maximální doba obnovy činí jednu hodinu.

Provoz na komunikaci může být z vážných důvodů úplně uzavřen. [6]

5.3 Oblast použití mikrokoberců

Kalové vrstvy – mikrokoberce jsou zejména vhodné pro tyto úpravy:

5.3.1 Nepropustnost.

Pro zamezení pronikání vody a nečistot do degradované obrusné vrstvy a dále do podkladních vrstev.

5.3.2 Prodloužení životnosti.

Prodloužení životnosti je závislé na zvoleném druhu pojiva, kameniva, přísad a na správném dávkování směsi během pokládky. Dále závisí na třídě dopravního zatížení a na klimatických podmínkách provozu stavby. Očekávané hodnoty životnosti uvádí tabulka 10. [6]

Tabulka 10 Předpokládaná doba životnosti kalových vrstev. [6]

Typ kalové vrstvy	Druh pojiva	Předpokládaná doba životnosti (v letech)
Emulzní kalový zákryt jednovrstvý	E	2 - 3
Emulzní kalový zákryt dvojevrstvý	E	2 - 4
Emulzní mikrokoberec jednovrstvý	EP	5 - 8
Emulzní mikrokoberec dvojevrstvý	EP	6 - 9

Pozn.: E – Kation aktivní asfaltová emulze, EP Modifikovaná kationaktivní asfaltová emulze

Kalové vrstvy provedené v souladu s ČSN EN 12273 – Specifikace jsou považovány za trvanlivé po celou dobu funkční životnosti. Trvanlivost deklaruje zkušební úsek pro schválení typu (TAIT). [9]

TAIT je zkušební úsek pro schválení typu, tímto úsekem se prokazuje, že se funkční charakteristiky kalové vrstvy shodují s deklarovanými charakteristikami uvedené v normě ČSN EN 12273. Pro požadavky TAIT se položí kalová vrstva v definovaném úseku vozovky. Na tomto úseku jsou po roce provedeny zkoušky funkčních charakteristik právě po uplynutí jednoho roku. [9]

Většina poruch se na položené kalové vrstvě projevuje právě po uplynutí jednoho roku. [9]

5.3.3 Reprofilace povrchu vozovky.

Obzvláště při pokládce dvouvrstvé úpravy. Při pokládce na celou šířku jízdního pruhu/pásu. Vyplnění podélných deformací (vyjeté koleje). Nebo může být použit pouze pro vyplnění kolejí při použití speciálního kladecího rámu, obrázek 9.



Obrázek 9 Kladecí rám na vyplnění vyjetých kolejí [1]

5.3.4 Jako ochranná vrstva pokládaná na pružné membrány.

Zabraňuje porušení pružné membrány při pokládce dalších asfaltových nebo betonech vrstev při pojezdu finišeru.

5.3.5 Snížení hluku od dopravy.

Zejména ve městech a při pokládkách na betonové kryty vozovek.

5.3.6 Zlepšení protismykových vlastností.

Vyšší bezpečnost provozu, nehodové úseky, nájezdy/sjezdy z dálnic a rychlostních komunikací. Graf 3, strana 43.

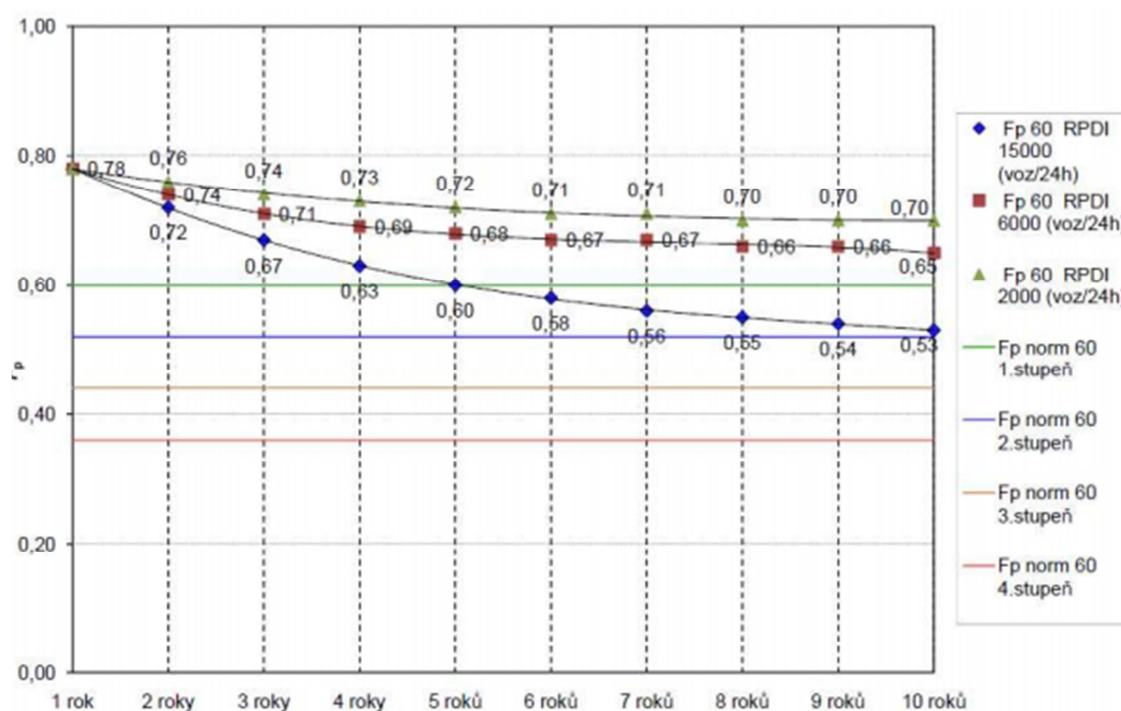
5.3.7 Možnost upravit barevný vzhled.

Při těchto úpravách má změna za cíl dosáhnout menšího pohlcování světla v nočních podmínkách nebo upozornit na nebezpečná místa – místa se sníženým rozhledem aj. Přidání oxidů železa se dosáhne červeného zbarvení, oxid chromu, oxid titaničitý aj. Tyto příměsi – anorganické syntetické pigmenty jsou obsaženy ve směsi v množství 3-4% (vztažené k celkovému množství směsi). U mikrokoberců se můžou používat i

bezbarvá syntetická pojiva, která nabízejí úpravu v základním spektru barev (červené, žluté, zelené, modré). Obsah pigmentu při použití těchto syntetických pojiv je okolo 2%. [15]

Při použití pigmentových pojiv je nutné, aby jejich funkční charakteristiky byly ve shodě s ČSN EN 13808. [9]

Graf 3 Vývoj protismykových vlastností emulzního mikrokoberce v čase [17]



Protismykové vlastnosti jsou hodnoceny na základě makrotextury směsi. Referenční zkouškou je zkouška podle ČSN EN 13036-1 (hloubka písku). Funkční charakteristika povrchu udávaná makrotexturou se rozděluje na 5 kategorií zobrazených v tabulce 11.

Tabulka 11 Kategorie funkčních charakteristik - makrotextura [6]

Technické požadavky	reference	jednotka	0	1	2	3	4	5
Makrotextura	EN 13036-1	mm	NPD	≥ 0,2	≥ 0,4	≥ 0,6	≥ 0,8	≥ 1,0

Stálost protismykových vlastností se v průběhu životnosti prokazuje zkouškou hodnot ohladitelnosti kameniva (PSV) podle ČSN EN 13043 a zkouškou makrotextury podle ČSN EN 13036-1. [6]

5.3.8 Další oblasti použití:

- Oprava povrchu vykazující ztrátu kameniva, sníženou celistvost, pórovitost, hetoregenitu nebo povrch podléhající oxidaci.
- Opravy a údržba mostů, letištních ploch, odstavných ploch u nákupních center, továren aj.
- Oprava trvalých plastických deformací.
- Dosažení bezprašnosti krytu
- Se všemi úpravami je spojen jednotný vzhled povrchu komunikace. [7]

Tabulka 12 uvádí doporučené použití typů směsí. [26]

Tabulka 12 Doporučené použití typů směsí [26]

Stav podkladu	Druh poruchy, závady	Typ směsi	Složení vrstev
Porézní podklad	otevřený povrch	0/4	Pokládka jedné nebo více vrstev
	koroze povrchu ztráta kameniva	nebo 0/5	
Zvýšený otěr	koroze povrchu	0/4	Vyrovnávka + obrusná vrstva
	drobné nerovnosti	0/5	Vyrovnávka + obrusná vrstva, pokládka pouze jedné vrstvy
Lokální výsavy	nestejněměrný povrch	0/4	Vyrovnávka + obrusná vrstva
	rozdílná drsnost povrchu	0/5	Vyrovnávka + obrusná vrstva
Deformace	drobné plošné nerovnosti velké nerovnosti, vytlačená místa	0/5	Odfrézování nerovností povrchu
		0/8	Vyrovnávka + obrusná vrstva
		0/8 + 0/5	Vyrovnávka 0/8 + obrusná vrstva 0/5
		0/5 + 0/8	Vyrovnávka 0/5 + obrusná vrstva 0/8
	podélné koleje do hloubky 10 mm podélné koleje do hloubky 15 mm	0/5	Vyrovnávka obrusná vrstva
		0/5 + 0/8	Vyrovnávka 0/5 + obrusná vrstva 0/8
		0/8 + 0/5	Výplň kolejí 0/8 + obrusná vrstva 0/5
0/8	Výplň kolejí obrusná vrstva		
0/11 + 0/8	Výplň kolejí 0/11 + obrusná vrstva 0/8		
Snížená drsnost	přesycení povrchu podkladu pojivem a maltou	0/5	Pokládka jedné nebo více vrstev
	ohlazené kamenivo	0/8	
Vysoká hlučnost	cementobetonový kryt	0/4 + 0/5	Očištění povrchu vodou
	jiné podklady	0/4 + 0/5	Pokládka ve dvou nebo více vrstvách
Ostatní ochranné vrstvy		0/2, 0/4	Membrána
		0/5, 0/8	Ochranné vrstvy

Přičemž je dáno, že hrubozrnné a střednězrnné mikrokoberce jsou vhodnější na obnovu drsnosti povrchu a jemnozrnné na vyrovnání nerovností do 15mm (extrémní hodnota)

Emulzní mikrokoberce lze aplikovat na všechny typy obrusných vrstev včetně cementobetonového a dlažebního s výjimkou asfaltového koberce drenážního (PA). Pokládka je možné provádět na vozovkách s třídou dopravního zatížení (TDZ) S, I – VI. [6]

Dále je vhodný pro úseky se zvýšeným namáháním (křižovatkové úseky, odbočovací a připojovací pruhy, dálniční sjezdy). [26]

Mikrokoberce v žádném případě nezvyšují únosnost vozovky. Nelze je použít pro opravy výtluků a hrbolů na vozovce, ani když dochází k sedání konstrukce.

5.4 Zkoušení kalové vrstvy

5.4.1 Kontrolní zkoušky

Kontrolní zkoušky kalové vrstvy se provádí za účelem zjištění shody s požadavky stanovenými pro zkoušku typu. Zhotovitel ověřuje vlastnosti uvedené v tabulce 13. [6]

Tabulka 13 Kontrolní zkoušky stavebních materiálů [6]

Materiál	Parametr	Norma
Asfaltová emulze kation aktivní	Obsah asfaltu	ČSN EN 1428
	Zbytek na síť	ČSN EN 1429
Kamenivo	Čáry zrnitosti	ČSN EN 13043
	Jemné částice	ČSN EN 13044
	Tvarový index	ČSN EN 13045

5.4.2 Zkoušky typu (průkazní zkoušky)

Zkoušky typu jsou splněny za předpokladu předložení dokladu a splnění parametrů uvedených v ČSN EN 12273. Předložený doklad je protokol o počáteční zkoušce typu. [6]

5.4.3 Zkoušení při provádění prací

Při provádění se zkoušejí kvalitativní parametry kalové vrstvy. Kvalitativní parametry

uvádí tabulka 14. [6]

Tabulka 14 Zkoušky při provádění prací [6]

Parametr	Norma	Četnost
Stanovení obsahu zbytkového pojiva	ČSN EN 13808 ČSN EN 14023	1x na každých 1000tun položené kalové směsi, min 1x pro každou stavbu a frakci kameniva
Stanovení pokládaného množství	udává tab. 9	Průběžně na každé stavbě podle uzavřené smlouvy
Zjevné vlastnosti	ČSN EN 12273	Průběžně během pokládky

K ověření výsledků zkoušek je objednavatel oprávněn provádět zkoušky podle vlastního systému kvality. Může je buď provádět ve vlastní laboratoři nebo je může postoupit jiné nezávislé laboratoři. [6]

6 NÁVRH SMĚSI MIKROKOBECERCE

Směs kameniva v emulzním mikrokoberci se skládá z jednotlivých frakcí kameniva a případně fileru ve vhodném poměru tak, aby výsledná čára zrnitosti ležela v daných mezích oboru zrnitosti. Čáry zrnitosti mikrokoberce mohou mít plynulý nebo přerušovaný průběh. Čáry zrnitosti uvádí tabulka 16 a graf 4. [6]

Obsah emulze ve směsi se navrhuje ze složení směsi tak, aby byl dodržen požadavek na hodnotu koeficientu sytosti zbytkového pojiva. Výpočet se provádí podle ČSN EN 13808. Výsledné množství pojiva ovlivňuje měrný povrch kameniva a množství musí být navrženo tak, aby se dosáhlo vyštěpení a konsolidace směsi v požadovaných mezích.

Podrobný návrh složení kalové směsi zpracuje odborná silniční laboratoř. [16]

Orientační složení stavební směsi uvádí tabulka 15

Tabulka 15 Složení stavební směsi [16]

Parametr	Kalová směs		
	EKMJ	EMKS	EMKH
Obsah asfaltu vyštěpené emulzní kalové směsi v % hmotnosti	9,0 - 12,0	5,0 - 8,0	4,6 - 6,5
Minimální množství čerstvé emulzní kalové směsi v kg/m ²	2,5 - 4,0	14,0	18,0

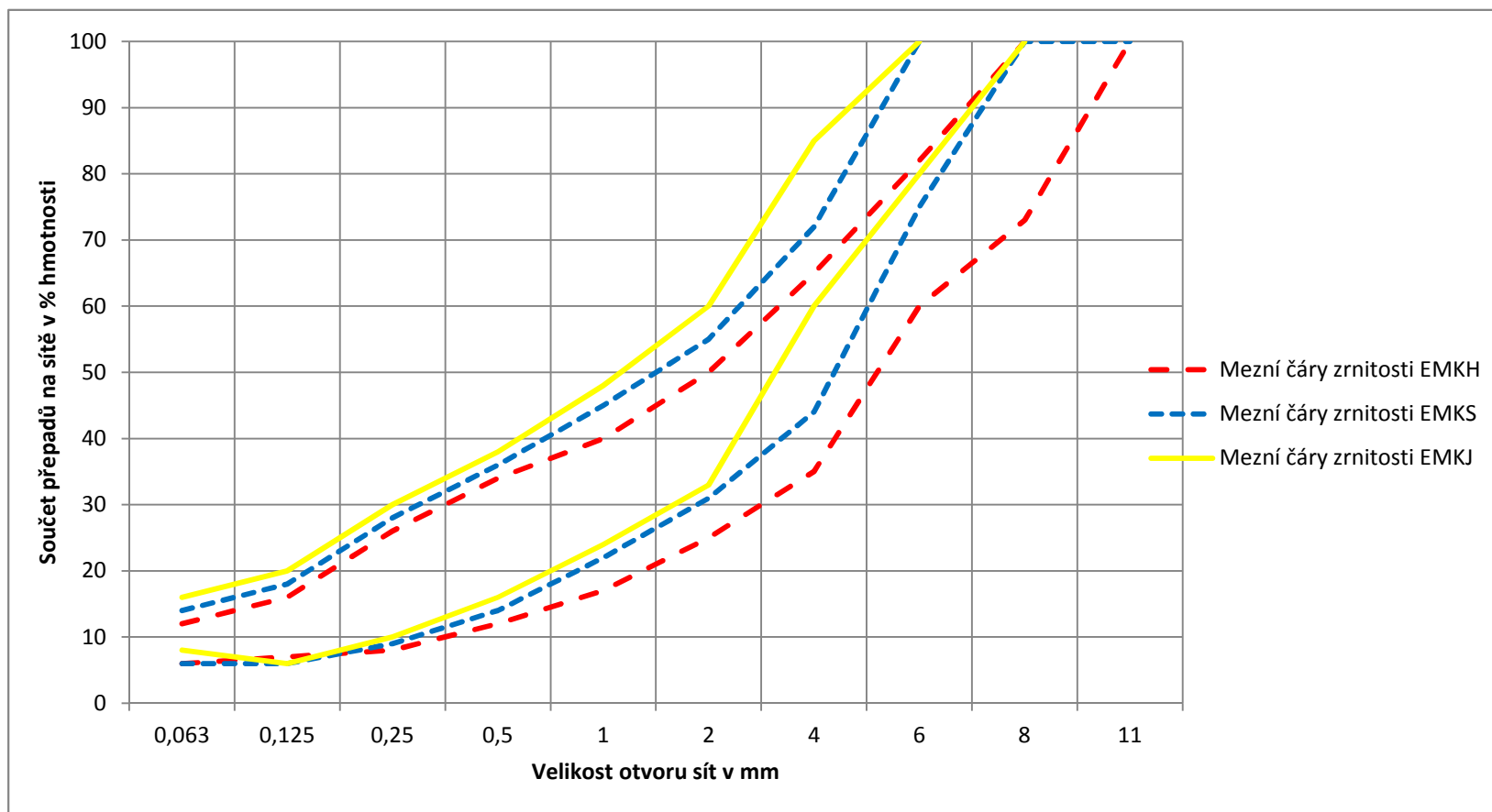
Navržená konzistence směsi má být řídkce kašovitá, aby při pokládce nedocházelo k vytékání jemnějších složek směsi po stranách kladecího rámu. Návrh směsi je ovlivněn celou řadou faktorů, proto není přípustné upravovat konzistenci směsi změnou poměru mezi asfaltovou emulzí a kamenivem v průběhu pokládky. To by mohlo mít za následek negativní ovlivnění požadovaných charakteristik emulzního mikrokoberce. [6]

Tabulka 16 Zrnitosti kameniva pro kalové směsi [16]

emulzní mikrokoberec	Velikost otvoru síta									
	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	6	8	11
EMKH										
dolní mez	6	7	8	12	17	25	35	-	60	73
horní mez	12	16	26	34	40	50	65	-	82	100
EMKS										
dolní mez	6	6	9	14	22	31	44	-	75	100
horní mez	14	18	28	36	45	55	72	-	100	100
EMKJ										
dolní mez	8	6	10	16	24	33	60	80	100	100
horní mez	16	20	30	38	48	60	85	100	100	100

Pozn. Norma ČSN 73 6130 stanovuje pouze požadavky na síta 0,063; 2; 4; a 5,6 mm podle maximálního zrna kameniva. Ostatní síta nejsou pro návrh směsi rozhodující. A stanovuje, že mikrokoberce mohou mít plynulou nebo přerušenou čáru zrnitosti. [6]

Graf 4 Zrnitost kameniva pro emulzní mikrokoberec [16]



7 LABORATORNÍ MĚŘENÍ

V praktické části při laboratorním měření bylo úkolem provést zkoušky Stanovení opotřebení podle ČSN EN 12274-5, Stanovení koheze směsi podle ČSN EN 12274-4 a stanovení doby štepitelnosti a konsolidace směsi.

Cílem těchto zkoušek bylo zjistit, jak se budou chovat různé směsi o stejné zrnitosti, když se při zkouškách bude měnit teplota kameniva a asfaltové emulze ve směsi. Výsledky těchto měření měly ukázat praktické teplotní rozmezí použití směsi mikrokoberce a změny vlastností směsi (koheze, opotřebení) při různých teplotách kameniva a asfaltové emulze.

7.1 Asfaltová emulze

Ve směsi byla použita kationaktivní emulze bez fluxantu s modifikovaným asfaltem s příměsí polymerů. Emulze je vedena pod obchodním názvem Emulvia Grip P, jedná se o emulzi C60BP6 podle ČSN EN 13808. Výrobce emulze je Eurovia CS, a.s., závod Emulze Kolín. Emulze je vhodná pro všechny třídy dopravního zatížení. Charakteristiky emulze jsou uvedeny v tabulce 17.

Tabulka 17 Charakteristiky emulze Emulvia Grip P [20]

Vlastnost		Hodnota	Zkouška dle
Obsah pojiva	%	52-62	ČSN EN 1428
Štěpitelnost	-	170-230	ČSN EN 130075-1
Doba výtoku	s	15-45	ČSN EN 12846
2 mm při 40 °C			
Zbytek na sítu 0,5	%	≤ 0,05	ČSN EN 1429
Zbytek na sítu 0,5	%	≤ 0,05	ČSN EN 1429
po sedmi dnech skladování			
Bod měknutí zpětně			ČSN EN 130074
získaného pojiva	°C	≥ 50	ČSN EN 1427
Koheze kyvadlem J/cm ² zpětně získaného pojiva		≥ 0,7	ČSN EN 13588
Přilnavost ponořením do vody Metoda kamenivem	%	≥ 75	ČSN EN 13614

7.2 Kamenivo

Ve směsi byly jako kamenivo použity dvě frakce:

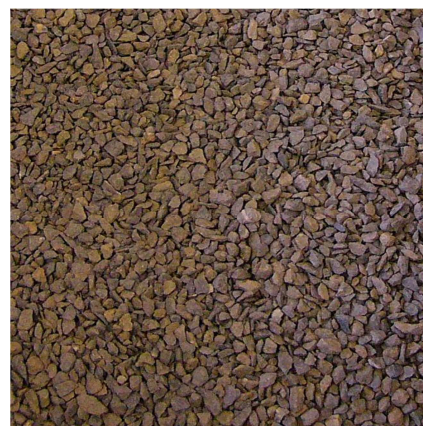
Droba frakce 2/5 (základní kvalitativní parametry horniny jsou uvedeny v příloze 15-1), jedná se o střednězrnou živcovou drobu se subangulárně psamitickou strukturou, textura horniny je masivní. Objemová hmotnost 2697 kg/m^3 . Obrázek 10. [20]

Amfibolit frakce 0/4, amfibolit má místy granitickou strukturu s možností výskytu epidotu, diopsidu a klinozoistu. Objemová hmotnost 3039 kg/m^3 Obrázek 11.

Obě frakce kameniva splňují požadavky na kamenivo: použití do kalové vrstvy podle ČSN 73 6130. Čára zrnitosti kameniva je znázorněna v grafu 5 a procentuální zastoupení jednotlivých frakcí v tabulce 18 na str. 50.



Obrázek 10 Amfibolit 0/4

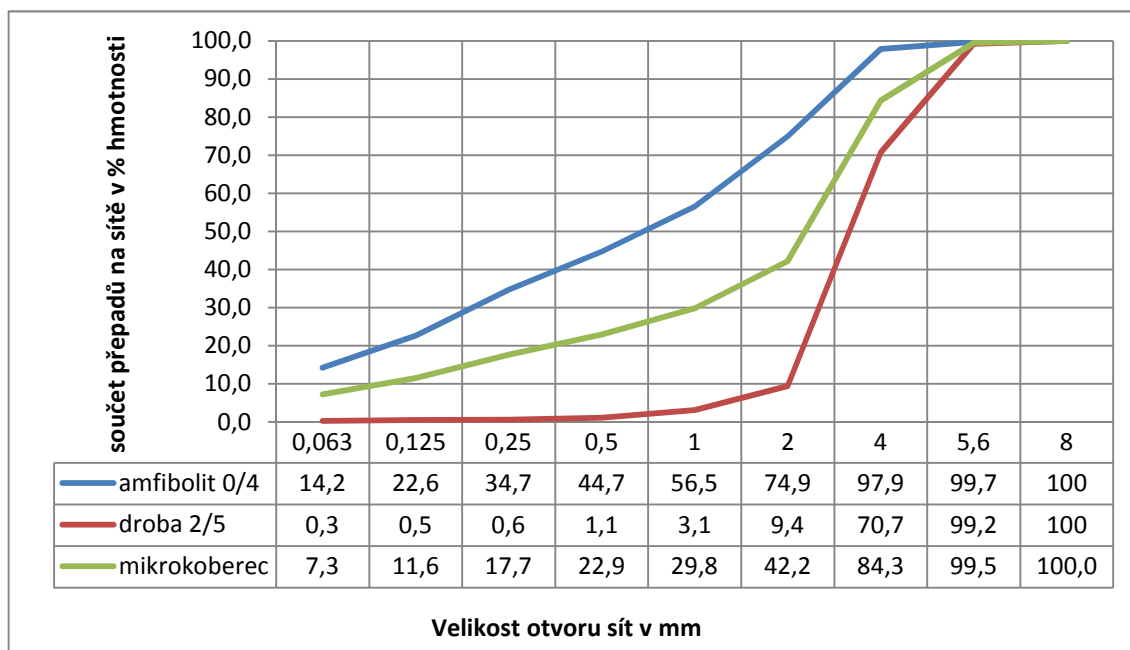


Obrázek 11 Droba 2/5

7.3 Přísady

Jako přísady bylo standardně použito vápenného hydrátu Ca(OH)_2 v množství 0,15 gramu, hydrát je ve směsi přísada prodlužující dobu štěpení a zlepšující kohezi. V jednom případě pro příklad srovnání různých druhů přísad byl použit portlandský cement SC70 v množství 0,15 gramu a posléze 0,1 gramu, portlandský cement je přísada zkracující dobu štěpení směsi.

Graf 5 Čára zrnitosti kameniva použitého při zkouškách z průkazných zkoušek



Tabulka 18 Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí kameniva ve směsi

droba 0/4	0.5	7.1	11.3	17.35	22.35	28.25	37.45	48.95	49.85	50
amfibolit 2/5	0.5	0.15	0.25	0.3	0.55	1.55	4.7	35.35	49.6	50
		0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8
	1.00	7.3	11.6	17.7	22.9	29.8	42.2	84.3	99.5	100.0

Měrný povrch kameniva stanovený z rovnice 1 byl 13,34 m²/kg

$$\varepsilon = 0,01 \times (0,174 \times G + 0,4 \times g + 2,3 \times S + 15,33 \times s + 140 \times f) \tag{1}$$

$$\varepsilon = 0,01 \times (0,174 \times 0,0 + 0,4 \times 15,7 + 2,3 \times 66,7 + 15,33 \times 10,4 + 140 \times 7,3)$$

$$= 13,34 \text{ m}^2/\text{kg}$$

G = podíl kameniva v % hmotnosti, které zadrží síto 8

g = podíl kameniva v % hmotnosti, které propadne sítem 8 a zadrží síto 4

S = podíl kameniva v % hmotnosti, které propadne sítem 4 a zadrží síto 0,25

s = podíl kameniva v % hmotnosti, které propadne sítem 0,25 a zadrží síto 0,063

f = podíl kameniva v % hmotnosti, které propadne sítem 0,063

Dávka emulze Emulvia Grip P (C60BP6) byla 12,6 % na 100 % směsi kameniva, tj. 7,0 % zbytkového asfaltu ve směsi.

Stanovené množství odpovídá požadavku na minimální obsah asfaltu ve vyštěpené emulzní kalové směsi z ČSN 73 6130 stanoveném pro emulzní mikrokoberec frakce 0/5 (této frakci odpovídá zkoušená směs) na 7,0 – 9,0 % hmotnosti. A požadavku na minimální množství v čerstvé kalové směsi stanovenému na 10,0 kg/m². [6]

7.4 Zkouška štěpitelnosti

Při zkoušce štěpitelnosti se měřilo, za jak dlouho dojde k vyštěpení směsi tj. k oddělení fází směsi. Podle ČSN EN 12274-5 je vyštěpení směsi definováno takto: „Konec nevratného procesu v kalové vrstvě, při němž dochází ke koalescenci.“ [24]

Koalescence je spojování a nevratné splnutí kapek emulze do spojitě fáze. [5]

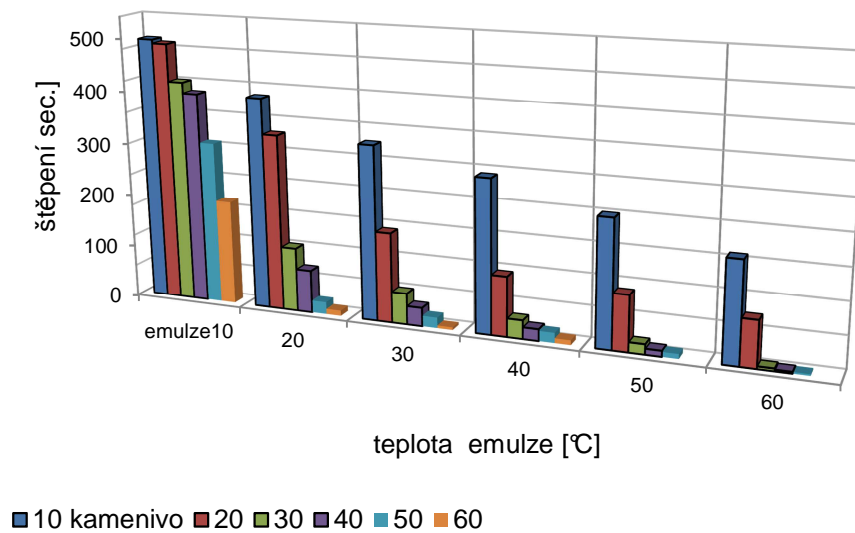
Je to nevratná fáze, která začíná počátkem štěpení emulze a trvá do doby, než se emulze spolu s kamenivem přemění na asfalt. Po vyštěpení není možné směs již dále míchat – směs nemá zpracovatelnost. [24]

V grafu 6 je znázorněna závislost mezi dobou štěpení a různými teplotami emulze a kameniva ve směsi. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 19.

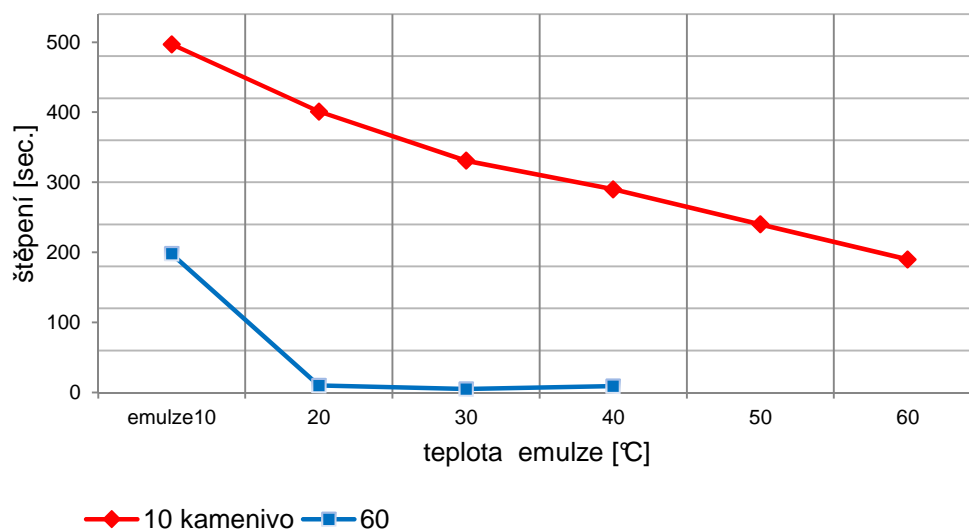
Tabulka 19 Závislost doby štěpení v sekundách na teplotě emulze a kameniva

emulze [°C]	kamenivo [°C]					
	10	20	30	40	50	60
10	497	490	420	400	308	198
20	401	334	121	81	23	10
30	331	170	59	35	20	5
40	290	113	35	22	19	9
50	240	105	19	11	9	-
60	190	87	5	3	3	-

Graf 6 Graf závislosti doby štěpení na teplotě emulze a kameniva



Graf 7 Doba štěpení v sekundách při teplotě kameniva 10 °C a 60 °C



Vyhodnocení

Z tabulky 7.4-1 vyplývá, že doba štěpitelnosti klesá s vyšší teplotou, přičemž rozhodující vliv na dobu vyštěpení má kamenivo. Při teplotě kameniva i emulze nad 30 °C je už doba štěpení nižší, než nejnižší požadovaná hodnota 90 sekund udaná v normě ČSN 73 6130. Naopak až při teplotě 40 °C u emulze a teplotě 10 °C u kameniva je dosaženo doby štěpení 290 sekund, což je téměř na hranici nejdelší povolené doby štěpení, kterou stanovuje norma ČSN 73 6130 na 300 sekund. Graf 7.4-2 znázorňuje jak výrazný je rozdíl doby štěpení při extrémní teplotě kameniva 60 °C a teplotě emulze 10 °C. Při teplotě kameniva a emulze 60 °C již nelze dobu štěpení ani změřit, směs vyštěpí okamžitě po smíchání emulze a kameniva. Naopak při nízké teplotě je doba štěpení vysoká. Při použití složek emulze a kameniva za těchto teplot by musela laboratoř navrhnout nové složení směsi s důrazem na množství přísad. V praxi t těmto extrémním podmínkám pravděpodobně nedojde.

7.5 Zkouška konsolidace

Konsolidace směsi začíná počátkem štěpení, při štěpení směsi začíná proces oddělování fází a na konci konsolidace směs nemá zpracovatelnost. Norma ČSN EN 12274-4 definuje konsolidaci: „Časový úsek po rozprostření směsi, po jehož uplynutí již kalovou vrstvou lze pojíždět.“ [23]



Obrázek 12 Zkouška konsolidace, filtrační papír [30]

Ukončení doby konsolidace směsi se zjišťuje přikládáním filtračního papíru na rozprostřenou směs. Ukončená konsolidace směsi se pozná podle toho, že se z povrchu směsi vylučuje pouze voda a tudíž na filtračním papíru nezůstávají zbytky asfaltu nebo kameniva, které jsou dobře vidět na počátku konsolidace.

Na obrázku 12 je vidět čerstvě vyštěpená směs ve formě, položená na nepropustné podložce (asfaltová izolace), aby nemohla unikat voda ze směsi spod formy. V horním rohu je vidět filtrační papír s obtiskem kameniva, které se na filtrační papír obtisklo po přiložení směsi. Takové znečištění filtračního papíru kamenivem značí úplný začátek konsolidace směsi. Obrázek 13 zobrazuje směs během konsolidace. Vybrané naměřené hodnoty konsolidace jsou uvedeny v tabulce 20. V tabulce nejsou uvedeny hodnoty, které z důvodu nepoužitelnosti směsi (nesplnění požadavku na čas štěpitelnosti v rozmezí mezi 90-300 sec. Z normy ČSN 73 6130) nebyly měřeny. Graficky jsou výsledky zobrazeny v grafu 8 a v grafu 9.

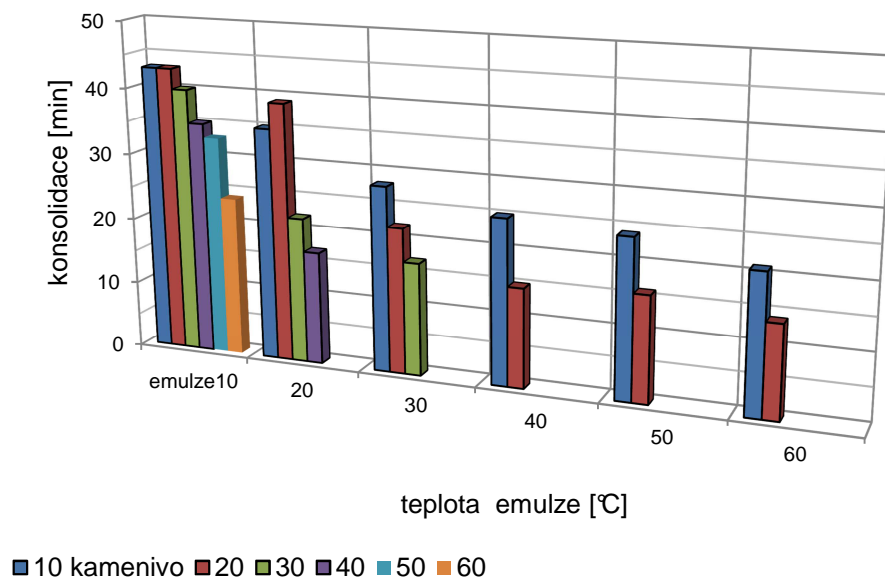
Tabulka 20 Závislost doby konsolidace na teplotě emulze - kamenivo

emulze [°C]	kamenivo [°C]					
	10	20	30	40	50	60
10	43	43	40	35	33	24
20	35	39	22	17		
30	28	22	17	-	-	-
40	25	15	-	-	-	-
50	24	16	-	-	-	-
60	21	14	-	-	-	-

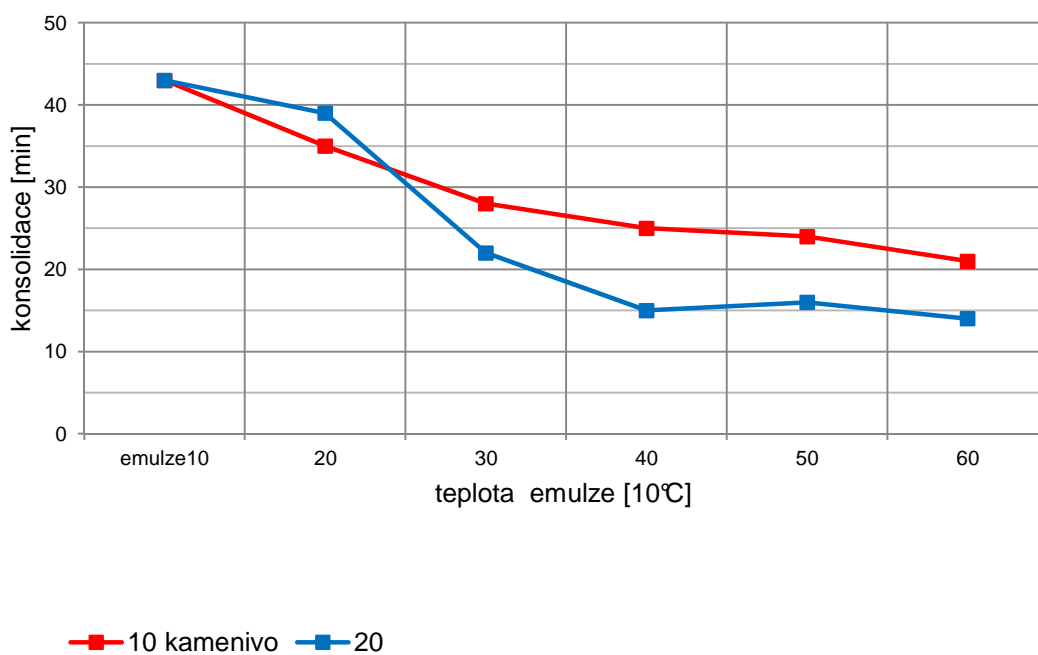


Obrázek 13 Zkouška konsolidace [30]

Graf 8 Graf závislosti doby konsolidace v minutách na teplotě emulze - kamenivo



Graf 9 Graf závislosti doby konsolidace v minutách na teplotě emulze - kamenivo



Doba konsolidace směsi ve smyslu normy ČSN EN 12274-4 je taková, po jejímž uplynutí je již možné položenou kalovou vrstvu pojíždět. Norma ČSN 73 6130 stanovuje požadavek na uvolnění dopravy: „ Při provádění předmětných úprav lze uvolnit provoz nejdříve: emulzní mikrokoberce – po uplynutí 20 minut.“ Současně stanovuje v závislosti na povětrnostních podmínkách maximální dobu zprovoznění úseku na 1 hodinu.

Vyhodnocení

Z výše uvedeného vyplývá, že by byla ideální doba konsolidace směsi mezi 20 minutami a jednou hodinou, spíše tedy hodnoty blížící se 20 minutám, aby byla doprava na opravovaném úseku co nejdříve obnovena. Do normou povoleného rozmezí uvolnění dopravy vychází všechny zkoušené směsi uvedené v tabulce 7.5-1. Při vyšších teplotách emulze – kamenivo (40 – 20) je dosaženo dokonce nižších hodnot než stanovuje norma a je současně splněna podmínka na štěpení v rozmezí 90 – 300 sekund. Naopak při teplotě emulze 10 °C je zároveň splněna podmínka na dobu štěpení až při extrémní teplotě kameniva 60 °C. Rozhodující je tedy pro použití směsi doba vyštěpení.

7.6 Stanovení koheze směsi

Stanovením koheze směsi se zabývá norma ČSN EN 12274-4 Kalové vrstvy – Zkušební metody – Část 4: Stanovení koheze směsi.

Koheze neboli soudržnost podle této normy vyjadřuje odpor směsi proti otočení zkušebním zařízením o 90 ° - 120°. Měří se tedy kroutící moment.

7.6.1 Příprava vzorku

Jednotlivé frakce kameniva použité pro zkušební vzorek musejí být vysušeny v sušárně při 110°C až do dosažení konstantní hmotnosti

Reaktivní filer vápenný hydrát $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nebo cement se musí vysušit v sušárně při teplotě (110±5) °C až do dosažení konstantní hmotnosti.

Emulze je předem vyrobená v emulgační stanici. Před smícháním složek se ručně zhomogenizuje.

Veškeré materiály použité k přípravě vzorku musí být temperovány po dobu nejméně 2 hodin před zkouškou při teplotě (23 ± 2) °C.

Poté co jsou naváženy a připraveny jednotlivé složky, smíchá se v připravené kádince voda s kamenivem a filerem do doby, než jsou povrchy kameniva a fileru zcela smáčeny. Déle je přidána v množství podle návrhu emulze. Složky promícháme až do doby než se směs zhomogenizuje, homogenní směs se rozprostře do připravených kovových forem. Kovové odlévací formy jsou čtvercového tvaru a mají 4 kónické otvory s rozměry podle normy ČSN EN 12274-4. Odlévací forma se volí s ohledem na zkoušenou směs podle velikosti maximálního zrna kameniva. Při námi prováděných zkouškách byl použit typ A s výškou $H = 6,3$ mm a průměrem otvorů: Horní $D = 60$ mm, Dolní $D = 60,3$ mm, pro maximální velikost kameniva 5,6 mm. Po naplnění formy se povrch seřízne, aby se vytvořil hladký povrch.

Při zkoušení se vzorek umístí do přístroje pod neoprénovou patku. Ta se poté spustí na povrch vzorku a je přitlačována k vzorku stálým přítlakem (200 ± 4) kPa. Po přilehnutí se nasadí momentový vynulovaný klíč a otočí se patkou o $90^\circ - 120^\circ$. Zaznamená se hodnota kroutícího momentu a čas. [21] Přístroj na měření koheze je znázorněn na obrázku 14.

Měření koheze bylo měřeno v časech 10,20,30,60 min. po konsolidaci směsi.



Obrázek 14 Zkušební přístroj pro stanovení koheze směsi se zkušebními vzorky [30]

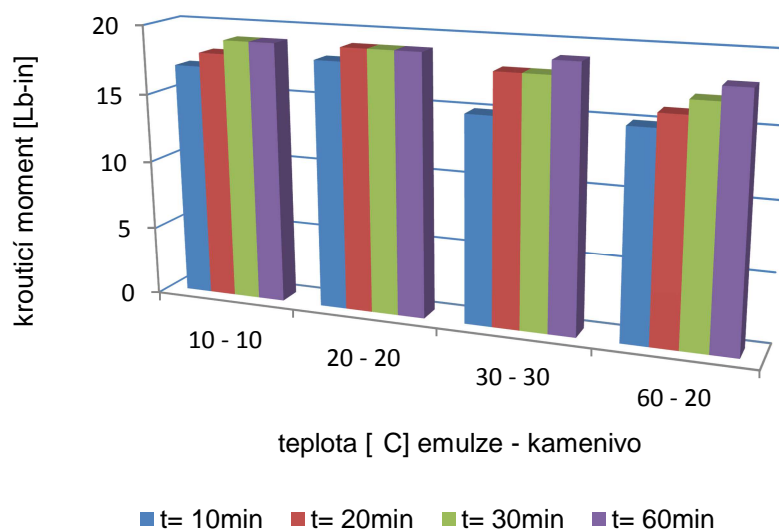
Měření bylo prováděno při konstantní teplotě (23 ± 2) °C.

Grafy 10 a 11 a tabulky 21 a 22 uvádí naměřené hodnoty kroučícího momentu v závislosti na různých teplotách emulze a kameniva

Tabulka 21 Hodnoty kroučícího momentu ze zk. koheze směsi poměr emulze - kamenivo

teplota [°C] emulze - kamenivo	kroučící moment [Lb-in]			
	t = 10min.	t= 20min	t= 30min	t= 60min
10 - 10	17	18	19	19
20 - 20	18	19	19	19
30 - 30	15	18	18	19
60 - 20	15	16	17	18

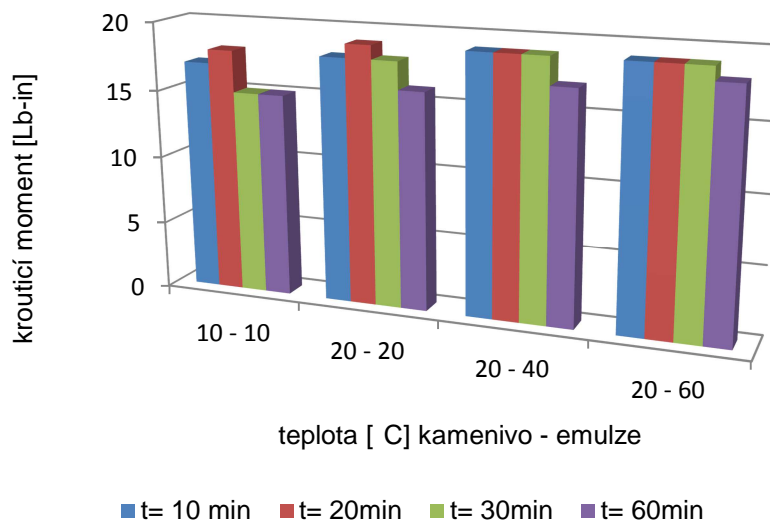
Graf 10 Hodnoty kroučícího momentu v závislosti na teplotě, poměr emulze - kamenivo



Tabulka 22 Hodnoty kroučícího momentu ze zk. koheze směsi poměr emulze - kamenivo

teplota [°C] kamenivo - emulze	kroučící moment [Lb-in]			
	t = 10min.	t= 20min	t= 30min	t= 60min
10 - 10	17	18	19	19
20 - 20	18	19	19	19
20 - 40	15	18	19	19
20 - 60	15	16	17	18

Graf 11 Hodnoty kroutícího momentu v závislosti na teplotě, poměr emulze - kamenivo



Poznámka: Převod kroutícího momentu do jednotek SI – 1 [Lb-in] = 0,11 [Nm]

Vyhodnocení

Hodnoty kroutícího momentu (koheze směsi) rostou s přibývajícím časem měření bez výraznějšího ovlivnění koheze počáteční teplotou složek emulze – kamenivo. Výsledná koheze směsi v čase $t = 60$ minut je pro teploty složek směsi: 10 – 10, 20 – 20, 30 – 30 totožná 19 Lb - -in, což odpovídá hodnotě 2,15 Nm. Norma ČSN EN 12274-4 ani norma ČSN 73 6130 nestanovuje žádné požadavky na hodnoty kroutícího momentu. Požadované hodnoty si stanovuje zhotovitel podle vnitřních předpisů.

7.7 Stanovení opotřebení směsi

Zkouškou opotřebení směsi se zabývá norma ČSN EN 12274-5 Kalové vrstvy – Zkušební metody – Část 5: Stanovení opotřebení.

Podstatou zkoušky je zjištění úbytku hmotnosti směsi poté, co po zkušebním tělese rotuje planetárním pohybem hlavice s gumovou hadicí dané tvrdosti (80 Shore) simulující pojezd dopravy. Těleso je během zkoušky ponořeno celé ve vodě.

7.7.1 Příprava vzorku

Jednotlivé frakce kameniva použité pro zkušební vzorek musejí být vysušeny v sušárně

při 110°C až do dosažení konstantní hmotnosti

Reaktivní filer vápenný hydrát $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nebo cement se musí vysušit v sušárně při teplotě (110 ± 5) °C až do dosažení konstantní hmotnosti.

Emulze je předem vyrobená v emulgační stanici. Před smícháním složek se ručně zhomogenizuje.

Veškeré materiály použité k přípravě vzorku musí být temperovány po dobu nejméně 2 hodin při teplotě podle tabulky 23.

Tabulka 23 Temperovací teplota směsi podle ČSN EN 12274-5 [5]

Typ kalové směsi	Temperovací teplota [°C]
Pomalou štěpná směs	Laboratorní teplota
Rychloštěpná směs	5 ±3

Rychloštěpná směs je podle normy definována jako: „Kalová směs s dobou vyštěpení kratší nebo rovnou 30 min.“ Pomalu štěpná směs je taková, která má dobu vyštěpení delší než 30minut.[5] Vyštěpení je v tomto smyslu chápáno jako doba konsolidace směsi, v podstatě se jedná o vyštěpení emulze v celém rozsahu. Kdy se odlučuje ze směsi pouze čistá voda.

Příprava směsi probíhá stejně jako u zkoušky koheze. Pro velikost maximálního zrna kameniva 5mm, které bylo použito při zkouškách, je předepsané množství kameniva a reaktivního fileru 1 500±10 g. Voda použitá na smáčení kameniva a fileru nesmí mít více než 250 ppm obsahu uhličitanu vápenatého. Doba míchání složek směsi spolu s emulzí by měla být (45 ± 1) sekund. Po homogenizování směsi se směs rozprostřela do připravené prstencové formy, která byla podle normy velikosti B (maximální zrno kameniva 8,0 mm), protože je dán požadavek, aby výška formy převyšovala maximální zrno kameniva minimálně o 15%, v našem případě je zvýšená velikost zrna o rezervu 15% 5,75 mm, proto byla použita forma B. Forma se umístí na nepropustný podklad a poté se do ní rozprostře kalová směs a povrch se seřízne, aby se vytvořil hladký povrch, při rozprostírání směsi musíme zbránit segregaci kameniva.

Vytvrzení směsi se podle normy děje v sušárně při teplotě (60 ± 5) °C do dosažení konstantní hmotnosti.

Při našem měření podle metodiky firmy Eurovia CS a.s. se připravily dva vzorky

stejně směsi, z nichž jeden vzorek byl umístěn v prostředí 55% vlhkosti a při teplotě v rozmezí 18 – 20 °C a druhý vzorek byl umístěn v prostředí 100% vlhkosti při teplotě 18 – 20 °C na dobu 16 hodin. Obrázek 15 Zkušební těleso před zkouškou.

Při vlastní zkoušce se odstraní kovová forma a zkušební těleso se umístí do přístroje (HOBART – obrázek 15) do vodní lázně (25±2 °C), v které zkouška probíhá. Těleso je upevněné k pokladní desce. Když je vzorek připraven, přístroj se zapne a abrazivní hlava s pryžovou hadicí o předepsané tvrdosti a rozměrech (80 Shore, vnitřní průměr 19±0,5mm, vnější průměr 31mm) začne vykonávat planetový pohyb simulující pojíždění dopravou po dobu (300±2) sekund. Jednou hadicí je možné provést pouze dvě zkoušky.

Po dokončení zkoušky se vzorek opláchně vodou, aby se odstranily uvolněné částice. Obrázek 16 zobrazuje zkušební těleso po zkoušce. Výsledky zkoušky jsou zobrazeny v tab. 24 a grafu 12.

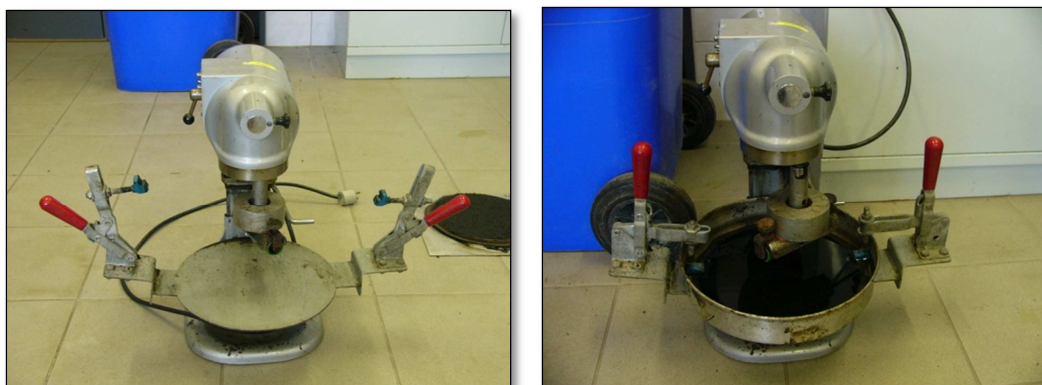
Výsledek zkoušky je úbytek hmotnosti vzorku vyjádřený v gramech podle rovnice 2.

(2)

L je ztráta hmotnosti vzorku během zkoušky v gramech s přesností na 1 gram

Wa je hmotnost vzorku před zkouškou v gramech s přesností na 1 gram

Wb je hmotnost vzorku po zkoušce v gramech s přesností na 1 gram



Obrázek 15 Zkušební přístroj pro zkoušku opotřebení směsi HOBART [30]



Obrázek 16 Zkušební těleso před zkouškou a po zkoušce opotřebení (vpravo) [30]

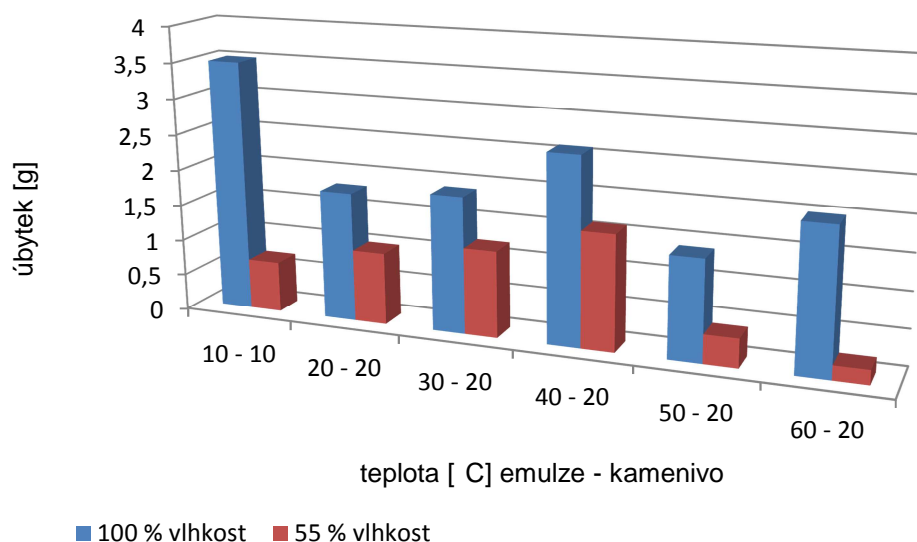
Tabulka 24 Výsledky zkoušky opotřebení

směs emulze-kamenivo [°C] - [°C]	vlhkost při vytvrzování [%]	teplota při zkoušení [°C]	úbytek [g]
10 - 10	55	10	0,7
	100	10	3,5
20 - 20	55	10	1
	100	10	1,8
30 - 20	55	10	1,2
	100	10	1,9
40 - 20	55	30	1,6
	100	30	2,6
50 - 20	55	30	0,4
	100	30	1,4
60 - 20	55	30	0,2
	100	30	2

Vyhodnocení

Z naměřených hodnot vyplývá, že pokud je zkušební vzorek po dobu zrání v prostředí se 100 % vlhkostí, dochází k výraznějšímu opotřebení, než v prostředí s 55 % vlhkostí, v některých případech až několikanásobně (teploty emulze – kamenivo 10-10, 50 – 20, 60 – 20). Prostředí se 100 % vlhkostí simuluje extrémní nároky na kalovou vrstvu jako je déšť následující po položení směsi. Dále je z hodnot patrná vzrůstající tendence opotřebení spolu s teplotou směsi až do hodnoty 50-20 při vlhkosti zrání 55 %.

Graf 12 Výsledky zkoušky opotřebení

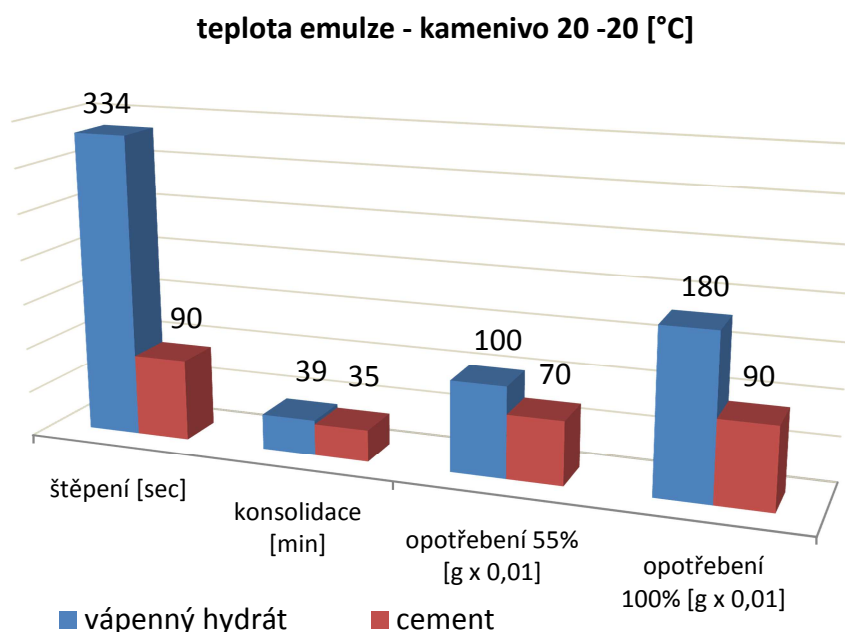


7.8 Porovnání výsledků zkoušek při použití vápeného hydrátu a cementu

Jako přísada pro regulaci doby štěpení byl obvykle použit vápenný hydrát $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v množství 0,15 gramu. Při zkoušce při teplotě emulze – kamenivo 20 – 20 byla kromě běžné směsi s obsahem vápenného hydrátu provedena náhrada hydrátu za přísadu cement SC70 (portlandský cement) v množství 0,1 gramu. Výsledkem této změny byla zkrácení doby štěpení o 73 % z 334 sekund při použití vápenného proti 90 při použití

sekundám cementu (minimální doba štěpení požadovaná v normě). Doba konsolidace se výrazně nezměnila, snížila se z 39 minut na 35 minut po použití cementu. Další výrazná změna nastala při zkoušce opotřebení při podmínkách, když směs zrála v prostředí 100% vlhkosti. Při zkoušce opotřebení. Z úbytku 1,9 gramu při použití vápenného hydrátu se úbytek zmenšil o 50% na hodnotu 0,9 gramu při použití cementu. Hodnoty koheze po 60 minutách ve směsi s obsahem cementu dosahovaly 21 Lb-in (2,31 Nm), to je výsledek kterého nedosáhla žádná směs s obsahem vápenného hydrátu. Výsledky porovnání jsou zobrazeny v grafu 13.

Graf 13 Porovnání vlastnosti směsi s obsahem vápenný hydrát/cement



Pozn. Vápenný hydrát $\text{Ca}(\text{OH})_2$ je přísada prodlužující dobu štěpení. Portlandský cement SC 70 je přísada zkracující dobu štěpení.

8 ZÁVĚR

Účelem bakalářské práce bylo přinést teoretické a praktické poznatky o technologii kalových vrstev – mikrokobercích prováděných za studena.

Teoretická část se snaží předvést ucelený přehled o této speciální technologii, v jednotlivých kapitolách jsou popsány charakteristické vlastnosti a problematiky spojené s použitím technologie mikrokoberců prováděných za studena.

Rozhodující pro výběr konkrétního složení směsi je použitá asfaltová emulze, na základě toho zda je zvolena kationaktivní nebo anionaktivní emulze se dále váže možná volba typu použitého kameniva (zásadité, kyselé, suché nebo i vlhké aj.) a následně volba použitých přísad k regulaci doby štěpení a stabilizaci emulze. V dnešním stavitelství je nejvíce používaná emulze ve směsi mikrokoberce emulze kationaktivní modifikovaná.

Stěžejní část této bakalářské práce je zpracována v kapitole č. 7 (praktická část), kde jsou zhodnoceny výsledky jednotlivých zkoušek provedených na směsi mikrokoberce. Při zkouškách byl sledován vliv teploty emulze a kameniva na dobu štěpení a konsolidace, podle výsledků těchto zkoušek byly následně zvoleny směsi, na kterých se měřila koheze a opotřebení. Předpoklad zkoušek byl, že se rychlost štěpení bude zvyšovat s vyšší teplotou složek emulze – kamenivo.

První prováděnou zkouškou, rozhodující o dalších provedených, byla zkouška štěpení směsi. Provádí se neprodleně po smíchání složek směsi a k jejímu vyhodnocení není potřeba žádné zařízení kromě měřicího (stopky). Při zkouškách se zjistilo, že na dobu štěpitelnost při neměnném složení směsi má největší vliv teplota kameniva. Platí úměra, že čím nižší je teplota směsi, tím vyšší je změřená doba štěpení, přičemž vyšší váhu má teplota kameniva.

Další prováděnou zkouškou byla zkouška konsolidace směsi. Z naměřených hodnot vyplývá, že všechny směsi vyhovují požadavku v normě na maximální dobu konsolidace stanovenou pro mikrokoberce - 1 hodina. Doba konsolidace se snižuje spolu s dobou štěpení. Nejrychlejší konsolidace, u ještě použitelných směsí z hlediska doby štěpení, byla v rozmezí okolo 15 minut.

Zkouška koheze směsi ukázala, že u většiny směsí 60 minut po konsolidaci dosahovaly hodnoty stejných výsledků 19 Lb-in (2,1 Nm). Vzhledem k tomu, že v normě ČSN 73 6130 ani v normě ČSN EN 12273 nejsou uvedené žádné požadavky na hodnoty koheze nelze výsledky zhodnotit.

Při zkoušce opotřebení (abraze) bylo postupováno podle normy, pouze vytvrzení zkušebních těles bylo uskutečněno v jiném prostředí a to v prostředí s 55 % vlhkostí vzduchu a v prostředí se 100 % vlhkostí vzduchu, které je pro zkušební vzorek náročnější, než stanovuje příslušná norma. Výsledky ukázaly, že při vyšších teplotách se opotřebení zvyšuje (někdy až několikanásobně). Proto by bylo dobré zvážit, zda není potřeba upravit podmínky vytvrzování směsi u zkoušky, aby zkouška simulovala nejhorší možné podmínky, které mohou bezprostředně po pokládce směsi nastat, např. přívalový déšť).

V jednom případě při referenční teplotě emulze – kamenivo 20 – 20 bylo přistoupeno k nahrazení vápenného hydrátu portlandským cementem. S pozměněnou směsí byly provedeny zkoušky podle stejné metodiky jako při použití vápenného hydrátu. Z této záměny je patrné jak moc směs ovlivňuje volba typu přísady. Zvýšila se hodnota koheze po 60 minutách na konečných 21 Lb-in (2,31 Nm) a současně se snížila hodnota opotřebení směsi, u vzorku uloženého v době zrání ve 100 % vlhkosti z 1,8 gramu 0,9 gramu.

U zkoušek koheze a opotřebení je jedním z faktorů ovlivňující výsledek zkoušek uhlazení směsi ve zkušební formě. To může být možná příčina drobných nesrovnalostí ve zjištěných hodnotách.

Výsledky bakalářské práce mohou pomoci stavbyvedoucím zjistit, jak se pravděpodobně bude chovat směs po smíchání složek během různých teplot ovzduší, které jsou značně rozdílné při pokládkách prováděných na jihu nebo na severu Evropy.

Závěrem lze říci, že technologie mikrokoberců za studena je přínosná speciální technologie pro specifické stavební účely zejména použitelná pro preventivní údržbu a ochranu stávajících obrusných vrstev. Hlavní předností je nízká energetická náročnost a ekologická nezávadnost. A za předpokladu dodržení stanovených podmínek pro pokládku i relativně dlouhá životnost s uchováním původních vlastností.

9 SUMMARY

Microsurfacing is generally considered to be a highly specialized technique. It is used as tool for both pavement preservative and preventative maintenance. Application often depends on the experience of the microsurfacing contractor. Implementation is influenced by many factors, such as the weather or the optimal quantity of mixture components which was proved by the results of the practical part. Other specifications of the use of microsurfacing has also been described in the theoretical part. For example, information about ecology, principles of work and storage and information about components in microsurfacing. The chapter seven provides some test results. Here are the most significant ones:

- major effect on the breaking time on the mixture has a temperature of aggregates
- the results of cohesion values are not influenced by temperature of aggregates or emulsion
- consolidation values comply the required standards for all tested mixtures
- the results of abrasion are mainly influenced by the environment in which the tested elements were stored
- the use of different ingredients was significantly changing the test results

10 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] GRANSBERG, Douglas D. *Microsurfacing: A Synthesis of Highway Practice*. 1. vyd. Washington, DC: Transportation Research Board of the National Academies, 2010, 172 s. ISBN 978-030-9143-196. Dostupné z: http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_syn_411.pdf
- [2] HUNTER, Robert N. *Asphalts in Road Construction*. 1st ed. London: Thomas Telford, 2000, 563 s. ISBN 07-277-1683-2. Dostupné z: http://books.google.cz/books?id=77snb03IAV4C&printsec=frontcover&hl=cs&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [3] GSCHWENDT, Ivan. *Vozovky: obnova, zesilování a rekonstrukce*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2004, 166 s. ISBN 80-807-6005-5. ČSN EN 12597. (srpen 2001). *Asfalty a asfaltová pojiva – Terminologie*
- [4] ČSN EN 12597, (srpen 2001), *Asfalty a asfaltová pojiva – Terminologie*
- [5] GRÜNNER, Karol. *Asfaltové emulzie pri výstavbe a údržbe ciest*. 1. vyd. Harmanec: Bitunova, 2007, 151 s. ISBN 978-80-969771-5-4. ČSN EN 73 6130 (červen 2009). *Stavba vozovek-Kalové vrstvy*
- [6] ČSN EN 73 6130, (červen 2009), *Stavba vozovek-Kalové vrstvy*
- [7] SYNDICATES DES FABRICANTS D'EMULSIONS ROUTIERES DE BITUME, *Bitumen emulsions, general information applications*, Printed by Montreuil Offset in France-March 1991, 247 s.
- [8] VARAUS, Michal, *Pozemní komunikace II, asfaltová pojiva*. Elektronické skriptum, FAST VUT, v Brně 2005
- [9] ČSN EN 12273, (duben 2009), *Kalové vrstvy – Specifikace*
- [10] KRUPKA, Aleš, *Emulzní asfaltové směsi z pohledu ekologie*. Dostupné na: http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/02_Konstrukce%20a%20pozemni%20stavby/2_03_Pozemni%20komunikace/Krupka_Ales.pdf
- [11] TAKAMURA, K, LOK, K, WITTLINGER, R., *Microsurfacing for preventive maintenance:eco-efficient strategy*. Dostupné z: http://basf.com/group/corporate/de/function/conversions:/publish/content/sustainability/eco-efficiency-analysis/images/CTAA_ecoeficiency.pdf
- [12] Zkoušení kameniva, *Projekt 1716/2011 Aktualizace a rozšíření předmětu experimentální analýza konstrukcí F1/a*, Fakulta stavební, katedra silničních staveb ČVUT. Dostupné z: <http://d2051.fsv.cvut.cz/predmety/eak/>
- [13] Texas Department of Transportation, *Asphalt Emulsion*, Construction Division, October 2006. Dostupné z: <ftp://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdot-info/cst/AsphaltEmulsions.pdf>
- [14] VALENTIN, Jan, *Mikrokoberce prováděné za studena*. Přednáška předmětu: Stavba

- pozemních komunikací. Dostupné z:
<http://silnice.fsv.cvut.cz/predmety/stpk/mikrokoberce.pdf>
- [15] VALENTIN, Jan, MONDSCHHEIN, Petr, České vysoké učení technické v Praze, Centre for Integrated Design of Advanced Structures, *Identifikace možností zesvětlování asfaltových povrchů barevných asfaltových směsí*. Dostupné na:
http://www.cideas.cz/free/okno/technicke_listy/2tlv/1312-1.pdf
- [16] GSCHWENDT, Ivan. *Vozovky: konštrukcie a ich dimenzovanie*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 1999, 172 s. ISBN 80-889-0514-1.
- [17] NEKULA, Leoš, DAŠKOVÁ, Jaroslava, KUDRNA, Jan, Vysoké učení technické v Brně, *Technologie údržby nehodových úseků s nevyhovujícími protismykovými vlastnostmi a zhodnocení zkušenosti z realizovaných úseků*. Přednáška na konferenci ASFALTOVÉ VOZOVKY 2011, dostupné z: http://www.sdruzeni-silnice.cz/av2011/generalni-zpravy/data/tema3_varaus.pdf
- [18] DANAYER, Christopher ,překlad KUDRNA, Jan *Vápenný hydrát: chemicky aktivní filer pro vysoce jakostní asfaltové vozovky*
- [19] FOTO ARCHIV společnosti Eurovia C.S, a.s.
- [20] Charakteristika emulze – emulvia grip p, *prospekt závodu Emulze Kolín, Eurovia CS, a.s., návrh provedla Eurovia Services, s. r. o.*
- [21] ŠPŮREK, Josef, *Silniční stavitelství II, Stavba silnic a dálnic*, vydalo SNTL – Nakladatelství technické literatury, v r. 1979, vydání druhé, přepracované, doplněné, vytiskl Tisk, knižní výroba, n. p., Brno závod 1, 780 s.
- [22] Údaje z: <http://www.euroviakamenolomy.cz/>
- [23] ČSN EN 12274-4, leden (2004), *Kalové vrstvy – Zkušební metody – Část 4: Stanovení koheze směsi*.
- [24] ČSN EN 12274-5, leden (2004), *Kalové vrstvy – Zkušební metody – Část 5: Stanovení opotřebení*
- [25] ČSN EN 13808, leden (2006), *Asfalty a asfaltová pojiva – Systém specifikace kation aktivních asfaltových emulzí*
- [26] TKP 28, *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, mikrokoberce prováděné za studena*, Praha, březen 2008, dostupné z: http://www.pjpk.cz/TKP_28.pdf
- [27] VALENTIN, Jan, *Asfaltové emulze*, Přednáška předmětu: Stavba pozemních komunikací , dostupné z: <http://silnice.fsv.cvut.cz/predmety/stpk/emulze.pdf>
- [28] TRINNER, Alexander, *Kamenivo*, Technický a zkušební ústav Praha, s.p., dostupné z: <http://www.kme.zcu.cz/download/predmety/172-sm-04-kamenivo.pdf>
- [29] Podklady pro cvičení z předmětu BM02 Fast Brno, *Kamenivo*
- [30] Fotoarchiv Tomáš Koudelka

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Mikroskopická fotografie asfaltové emulze [8].....	10	
Obrázek 2 Schéma stavby částice anionaktivní asfaltové emulze. [21].....	14	
Obrázek 3 Stavba částice kationaktivní asfaltové emulze. [21].....	15	
Obrázek 4 Znázornění částice emulze - kapička asfaltu ve vodním prostředí [21]	17	
Obrázek 5 Možný únik škodlivin do ovzduší [10].....	24	
Obrázek 6 Schéma prostor emulgační stanice [7].....	33	
Obrázek 7 Kladeční rám při pokládce čerstvé směsi [19].....	36	
Obrázek 8 Pokladač kalové směsi [1]	38	
Obrázek 9 Kladeční rám na vyplnění vyjetých kolejí [1]	41	
Obrázek 10 Amfibolit 0/4	Obrázek 11 Droba 2/5.....	50
Obrázek 12 Zkouška konsolidace, filtrační papír [30].....	54	
Obrázek 13 Zkouška konsolidace [30].....	55	
Obrázek 14 Zkušební přístroj pro stanovení koheze směsi se zkušebními vzorky [30]	58	
Obrázek 15 Zkušební přístroj pro zkoušku opotřebení směsi HOBART [30].....	62	
Obrázek 16 Zkušební těleso před zkouškou a po zkoušce opotřebení (vpravo) [30]	63	

12 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Energetická náročnost vybraných technologií. [7]	25
Graf 2 Environmentální působení technologie za studena a za tepla. [11].....	26
Graf 3 Vývoj protismykových vlastností emulzního mikrokoberce v ča [17].....	42
Graf 4 Zrnitost kameniva pro emulzní mikrokoberce [16]	48
Graf 5 Čára zrnitosti kameniva použitého při zkouškách z průkazných zkoušek.....	51
Graf 6 Graf závislosti doby štěpení na teplotě emulze a kameniva	53
Graf 7 Doba štěpení při teplotě kameniva 10 °C a 60 °C	53
Graf 8 Graf závislosti doby konsolidace v minutách na teplotě emulze - kamenivo.....	56
Graf 9 Graf závislosti doby konsolidace na teplotě emulze - kamenivo.....	56
Graf 10 Hodnoty kroutícího momentu v závislosti na teplotě, poměr emulze - kamenivo	59
Graf 11 Hodnoty kroutícího momentu v závislosti na teplotě, poměr emulze - kamenivo	60
Graf 12 Výsledky zkoušky opotřebení.....	64
Graf 13 Porovnání vlastností směsi s obsahem vápenný hydrát/cement	65

13 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Rozdělení kalových vrstev podle různých silničních asociací [1]	9
Tabulka 2 Vlastnosti asfaltové kationaktivní emulze pro kalové vrstvy. [6].....	12
Tabulka 3 Systém specifikace pro kation aktivní asfaltové emulze - vlastnosti emulzí [25]	13
Tabulka 4 Systém specifikace pro kation aktivní asfaltové emulze - vlastnosti emulzí (Připravovaná aktualizace normy ČSN EN 13808) [25].....	13
Tabulka 5 Srovnání anionaktivní a kationaktivní emulze [21]	16
Tabulka 6 Vhodnost použití jednotlivých emulzí [13]	16
Tabulka 7 Kvalitativní parametry kameniva podle ČSN EN 13043:2004 [6]	19
Tabulka 8 Požadovaná teplota asfaltu v závislosti na penetraci. [5].....	29
Tabulka 9 Minimální hodnoty dávkování směsi [6]	36
Tabulka 10 Předpokládaná doba životnosti kalových vrstev. [6]	40
Tabulka 11 Kategorie funkčních charakteristik - makrotextura [6].....	42
Tabulka 12 Doporučené použití typů směsí [26]	43
Tabulka 13 Kontrolní zkoušky stavebních materiálů [6]	44
Tabulka 14 Zkoušky při provádění prací [6]	45
Tabulka 15 Složení stavební směsi [16]	46
Tabulka 16 Zrnitosti kameniva pro kalové směsi [16].....	47
Tabulka 17 Charakteristiky emulze Emulvia Grip P [20].....	49
Tabulka 18 Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí kameniva ve směsi.....	51
Tabulka 19 Závislost doby štěpení v sekundách na teplotě emulze a kameniva	52
Tabulka 20 Závislost doby konsolidace na teplotě emulze - kamenivo.....	55
Tabulka 21 Hodnoty kroutícího momentu ze zk. koheze směsi poměr emulze - kamenivo.....	59
Tabulka 22 Hodnoty kroutícího momentu ze zk. koheze směsi poměr emulze - kamenivo.....	59
Tabulka 23 Temperovací teplota směsi podle ČSN EN 12274-5 [5].....	61
Tabulka 24 Výsledky zkoušky opotřebení.....	63

14 SEZNEM POUŽITÝCH ZKRATEK

ISSA	The International Slurry Seal Association
AEMA	The Asphalt Emulsion Manufactures Association
FLHD	The Federal Lands Highway Division
EKZ	Emulzní kalový zákryt
EMK	Emulzní mikrokoberec
pH	Potential of hydrogen (vodíkový exponent)
NPD	Not performance determined (žádný ukazatel není stanoven)
TBR	Zaznamenat – výrobce je vyzýván k poskytnutí informací o výrobku
ITT	Initial type testing (počáteční zkoušky typu)
PSV	Polished stone value (hodnota ohladitelnosti)
SI	Le Systéme International d'Unités (mezinárodní systém jednotek)
FPC	Factory production control (řízení výroby u výrobce)
BBTM	Béton bitumineux très mince (velmi tenký asfaltový beton pokládáný za horka)
REACH	Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemical substances (registrace, evaluace a autorizace chemických látek)
TDZ	Třída dopravního zatížení
TP	Technický předpis
E	Kationaktivní asfaltová emulze
EP	Modifikovaná kationaktivní asfaltová emulze
TAIT	Type Approval Instalation Trial (zkušební úsek pro schválení typu)
PA	Porous asphalt (asfaltový koberec drenážní)
EKMJ	Emulzní koberec jemnozrnný
EMKS	Emulzní koberec střednězrnný
EMKH	Emulzní koberec hrubozrnný

15 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Základní kvalitativní parametry horniny – droba [22]	77
Příloha 2	Výsledky zkoušek.....	78

16 PŘÍLOHY

Příloha 1 Základní kvalitativní parametry horniny – droba [22]

Poř.	Základní charakteristiky	jednotka	hodnota
1.	Druh horniny		Droba
2.	Sypná hmotnost	Mg/m ³	1,8
3.	Objemová hmotnost	Mg/m ³	2,70
4.	Drtitelnost	%	37,6 (-1,6mm)
5.	Pevnost v tlaku	MPa	90-150
6.	Pracovní index WI	kWh/t	17,1 +-1,6
7.	Index abrazivity AI	--	0,41370
8.	Abrazivnost podle Bonda	g/t	880
9.	Odolnost proti drcení hrubého kameniva L.A.	% hm.	20
10.	Ohladitelnost HK pro obrusné vrstvy PSV	--	PSV62
11.	Odolnost proti zmrazování a rozmrazování	% hm.	F1
12.	Odolnost proti otěru hrubého kameniva M _{de} RB	--	≤15
13.	Odolnost proti drcení rázem SZ _{RB}		≤18
14.	Vlhkost (neprané)	% hm.	2
15.	nasákavost	% hm.	≤1
16.	Hrubé organické znečišťující látky		m _{UPC} 0,5
17.	Chemické složení	% hm.	Na ₂ O 2,4, MgO 1,8, Al ₂ O ₃ 14 SiO ₂ 68, S celková 0,057, Sírany SO ₃ 0,65 K ₂ O 3,0, Fe ₂ O ₃ 4,0
18.	Obsah přírodních radionuklidů dle Vyhl. č. 307/2002 Sb. ve znění Vyhl. č. 499/2005 Sb.	Bq.Kg ⁻¹	²²⁶ Ra 44, ²²⁸ Th 45, ⁴⁰ K 670

Příloha 2 Výsledky zkoušek

Poměr emulze/kamenivo

zkouška č.		1	29	30	2	3	4	5	6	7	8	
složení směsi		0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	
amfibolit 0 / 4		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
droba 2 / 5		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
EMULVIA GRIP P 7		12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	
voda		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
vápno		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15			
cement SC 70										0,15	0,1	
teplota emulze	[°C]	10	10	10	10	10	10	20	20	20	20	
teplota kameniva	[°C]	10	20	30	40	50	60	10	20	20	20	
doba štěpení	[sec]	497	490	420	400	308	198	401	334	75	90	
konsolidace	[min]	43	43	40	35	33	24	35	39		35	
koheze (10,20,30,60 min)	[lb.in.]	17,18,19,19							18,19,19,19		18,19,20,21	
opotřebení												
teplota při vytvrzování	[°C]	10							10		10	
vlhkost při 55 % vytvrzování		0,7							1		0,7	
vlhkost při 100% vytvrzování		3,5							1,8		0,9	

Poměr emulze/kamenivo

zkouška č.	9	10	11	31	12	13	14	15	16	32	
složení směsi	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	
amfibolit 0 / 4	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
droba 2 / 5	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
EMULVIA GRIP P 7	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	
voda	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
vápno	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
cement SC 70											
teplota emulze	[°C]	20	20	20	20	30	30	30	30	30	
teplota kameniva	[°C]	30	40	50	60	10	20	30	40	50	60
doba štěpení	[sec]	121	81	23	10	331	170	59	35	20	5
konsolidace	[min]	22	17			28	22	17			
koheze (10,20,30,60 min)	[lb.in]						15,18,19,19	15,18,18,19			
opotřebení											
teplota při vytvrzování	[°C]						10	30			
vlhkost při vytvrzování	55 %						1,2	1,1			
	100%						1,9	5,5			

Poměr emulze/kamenivo

zkouška č.	17	18	19	20	21	33	22	23	24	34	
složení směsi	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	
amfibolit 0 / 4	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
droba 2 / 5	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
EMULVIA GRIP P 7	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	
voda	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
vápno	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
cement SC 70											
teplota emulze	[°C]	40	40	40	40	40	40	50	50	50	50
teplota kameniva	[°C]	10	20	30	40	50	60	10	20	30	40
doba štěpení	[sec]	290	113	35	22	19	9	240	105	19	11
konsolidace	[min]	25	15					24	16		
koheze (10,20,30,60 min)	[lb.in]		15,18,19,19					15,18,19,19			
opotřebení											
teplota při vytvrzování	[°C]		30					30			
vlhkost při 55 % vytvrzování 100%			1,6					0,4			
			2,6					1,4			

Poměr emulze/kamenivo

zkouška č.	35	25	26	27	36	28
složení směsi	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5

amfibolit 0 / 4	50	50	50	50	50	50
droba 2 / 5	50	50	50	50	50	50
EMULVIA GRIP P 7	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
voda	8	8	8	8	8	8
vápno	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
cement SC 70						

teplota emulze	[°C]	50	60	60	60	60
-----------------------	------	----	----	----	----	----

teplota kameniva	[°C]	50	10	20	30	40	50
-------------------------	------	----	----	----	----	----	----

doba štěpení	[sec]	9	190	87	5	3	3
konsolidace	[min]		21	14			

koheze (10,20,30,60 min)	[lb.in.]		18,19,19,19	15,16,17,18			
---	----------	--	-------------	-------------	--	--	--

opotřebení

teplota při vytvrzování	[°C]			30			
vlhkost při vytvrzování	55 %			0,2			
	100%			2			

Poměr kamenivo/emulze

zkouška č.	1	5	12	17	22	25	6	13	18	23	
složení směsi	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	
amfibolit 0 / 4	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
droba 2 / 5	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
EMULVIA GRIP P 7	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	
voda	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
vápno cement SC 70	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
teplota kameniva	[°C]	10	10	10	10	10	10	20	20	20	
teplota emulze	[°C]	10	20	30	40	50	60	20	30	40	
doba štěpení	[sec]	497	401	331	290	240	190	334	170	113	
konsolidace	[min]	43	35	28	25	24	21	39	22	15	
koheze (10,20,30,60 min)	[lb.in.]	17,18,19,19					18,19,19,19	18,19,19,19	15,18,19,19	15,18,19,19	15,18,19,19
opotřebení											
teplota při vytvrzování	[°C]	10					10	10	10	10	
vlhkost při vytvřování 55 %		0,7					1	1,2	1,6	0,4	
vytvřování 100%		3,5					1,8	1,9	2,6	1,4	

Poměr kamenivo/emulze

zkouška č.		3	11	16	21	28
složení směsi		0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5
amfibolit 0 / 4		50	50	50	50	50
droba 2 / 5		50	50	50	50	50
EMULVIA GRIP P 7		12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
voda		8	8	8	8	8
vápno		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
cement SC 70						
teplota kameniva	[°C]	50	50	50	50	50
teplota emulze	[°C]	10	20	30	40	60
doba štěpení	[sec]	308	23	20	19	3
konsolidace	[min]	33				
koheze (10,20,30,60 min)	[lb.in.]					
opotřebení						
teplota při vytvrzování	[°C]					
vlhkost při vytvrzování		55 %				
		100%				