

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Vliv teploty na pokládku mikrokoberce za studena

Bakalářská práce

2020

Jakub Valenta

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Ing. Jakub Valenta**
Osobní číslo: **D16205**
Studijní program: **B3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní stavitelství**
Téma práce: **Vliv teploty na pokládku mikrokoberce za studena**
Zadávající katedra: **Katedra dopravního stavitelství**

Zásady pro vypracování

V rámci bakalářské práce prozkoumejte problematiku vlivu teploty emulze a kameniva na pokládku mikrokoberce za studena. V práci se zaměřte na popis principu technologie, zhodnocení přístupu v České republice a v zahraničí, legislativní rámec, vliv na životní prostředí a nutné podmínky pro zajištění správné pokládky – především teploty. Práce bude obsahovat rešeršní, teoretickou a experimentální část. Struktura práce je naznačena níže.

- Úvod
- Analýza současného stavu
- Stanovení konkrétních cílů
- Příprava a vypracování experimentu
- Vyhodnocení a diskuze nad výsledky
- Závěr a doporučení

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Seznam doporučené literatury:

ČSN 73 6130 (736130) – Stavba vozovek – Kalové vrstvy

ČSN EN 12273 (736146) – Kalové vrstvy – Specifikace

TKP 28, Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, mikrokoberce prováděné za studena

Zajíček Jan a kol.; Technologie stavby vozovek

A další související normy a odborné články dle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Lopour, Ph.D.

Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání bakalářské práce:

26. října 2019

Termín odevzdání bakalářské práce:

19. května 2020

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. října 2019

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 31. 12. 2020

Jakub Valenta

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval všem pracovníkům DS za krásná léta strávená na univerzitě, vedoucímu práce za vedení a rady při tvorbě práce, kolegům ze zaměstnání a své rodině za trpělivost, kterou se mnou měli v průběhu studia.

ANOTACE

Technologie pokládky mikrokoberců (EMK) za studena je jedním ze způsobů údržby povrchů pozemních komunikací. Jedná se o emulzní kalovou vrstvu složenou z kameniva, emulze, vody a regulátoru rychlosti štěpení. Rychlost štěpení je klíčovým faktorem pro kvalitní provedení pokládky EMK. Technologii EMK lze vlivem klimatických podmínek realizovat zhruba od poloviny května do poloviny září. Vliv teploty okolí na rychlost štěpení směsi je zásadní. Cílem práce je prozkoumat vliv teploty kameniva a emulze na rychlost štěpení směsi, stanovit ideální poměr komponentů a přísad pro pokládku a tím definovat správnou recepturu při konkrétní teplotě.

KLÍČOVÁ SLOVA

mikrokoberec, emulze, kalová vrstva, teplota, receptura

ABSTRACT

Microsurfacing is a technology to maintain road surfaces. Microsurfacing is an emulsified asphalt paving system made from stone, emulsion, water and additives. Due to temperature restrictions, microsurfacing can be used between middle of May to middle of September. Temperature influence has a major impact into a workability and quality of the layer. The aim of the bachelor thesis is to prove the impact of the stone temperature and temperature of the emulsion into the fission speed. Additionally to check the most suitable temperature for application and define the most suitable recipe for application.

KEYWORDS

microsurfacing, emulsion, slurry seal, temperature

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	11
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK.....	12
ÚVOD	13
Stručný popis práce	13
Obecné cíle práce.....	13
1. KALOVÉ VRSTVY	14
1.1. Historie kalových vrstev	14
1.2. Použití kalových vrstev v silničním stavitelství	15
1.3. Živičné emulzní kaly	17
1.4. Značení kalových vrstev	17
1.5. Asfaltové emulze	17
1.6. Kamenivo pro kalové vrstvy.....	24
1.7. Voda jako složka v kalové vrstvě	30
1.8. Přísady	30
2. TECHNOLOGIE POKLÁDKY MIKROKOBERCŮ.....	32
2.1. Pokládka mikrokoberců	32
2.2. Obsluha kladecí soupravy.....	37
2.3. Úprava povrchu kalového krytu	37
2.4. Výluka dopravního provozu	38
2.5. Mechanismy pro pokládku mikrokoberce	38
2.6. Výkon kladeče mikrokoberce	40
2.7. Zkouška mikrokoberce	41
2.8. Ekologie mikrokoberců	42
2.9. Nákladová a výnosová stránka technologie.....	43
2.10. Výhody a nevýhody technologie emulzních mikrokoberců	46
2.11. Použití mikrokoberců v zahraničí.....	47
2.12. Moderní trendy v technologii emulzních mikrokoberců	51
3. STANOVENÍ CÍLŮ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI.....	53
4. METODY A METODIKA MĚŘENÍ	54
4.1. Postup měření cíle č. 1 – stanovení sad teplotních kombinací kameniva a emulze pro další testování	54
4.2. Postup měření cíle č. 2 – stanovit optimální receptury směsi mikrokoberce .	54
4.3. Postup měření cíle č. 3 – prozkoumat vliv teploty kameniva a emulze na rychlosti štěpení směsi a ověření předpokladu zrychlující reakce štěpení při vzrůstající teplotě komponentů.....	56
4.4. Zvolené komponenty pro provedení experimentu.....	56
5. PRŮBĚH MĚŘENÍ, ZHODNOCENÍ A DISKUSE NAD VÝSLEDKY	58
5.1. Stanovení sad teplotních kombinací kameniva a emulze pro další testování (cíl č. 1).....	58
5.2. Stanovení vhodné receptury směsi mikrokoberce (cíl č. 2).....	58

5.3.	Prozkoumat vliv teploty kameniva a emulze na rychlosti štěpení a ověření předpokladu zrychlující reakce štěpení při vzrůstající teplotě komponentů (cíl č. 3)	61
5.3.1.	Kombinace teplot kameniva a emulze o teplotě 20 °C.....	66
5.3.2.	Kombinace teplot kameniva a emulze o teplotě 25 °C.....	68
5.3.3.	Kombinace teplot kameniva a emulze o teplotě 30 °C.....	69
5.3.4.	Kombinace teplot kameniva a emulze o teplotě 35 °C.....	71
6.	ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ A DOPORUČENÍ.....	73
7.	POUŽITÁ LITERATURA	78

Seznam obrázků

obrázek č. 1 – historická pokládka Slurry Sealu v USA [1].....	14
obrázek č. 2 – vlevo povrch vozovky před údržbou, vpravo po opravě technologií EKZ [4]	15
obrázek č. 3 – mikroskopická fotografie asfaltové emulze [17].....	18
obrázek č. 4 – koloidní mlýn IKA společnosti Vialit Soběslav, s. r. o., vlevo automatický řídicí systém pro ovládání vodní fáze a řízení výroby [20]	22
obrázek č. 5 – koloidní mlýn, v pozadí 2 nádrže na přípravu vodní fáze [20]	22
obrázek č. 6 – vnitřní rotor koloidního mlýnu, půdorys [21]	23
obrázek č. 7 – vnitřní rotor koloidního mlýnu, boční pohled [21]	23
obrázek č. 8 – foto DDK 0/5, lom Loja, Rakousko [20]	25
obrázek č. 9 – foto kamenivo DDK 0/8, lom Loja, Rakousko [20].....	26
obrázek č. 10 – zrnitost kameniva PDK 0/8 Speciál, lom Litice.....	28
obrázek č. 11 – zrnitost kameniva DDK 0/8 lom Loja	29
obrázek č. 12 – aplikace spojovacího postřiku na silnici I/3 u Plané nad Lužnicí [18].....	33
obrázek č. 13 – vlevo čerstvě položený EMK 0/5, vpravo pokládka z předešlého dne [18].....	36
obrázek č. 14 – čerstvě položený mikrokoberec 0/5, začátek štěpení, směs je tmavě černá [18]	37
obrázek č. 15 – souprava pro pokládku mikrokoberece společnosti Vialit Soběslav – tahač MAN s kladem mixem Schäfer Technic SMS 10 000 [21].....	38
obrázek č. 16 – nákladní automobil s hydraulickou rukou pro nakládku kameniva (vzadu) a mechanickým zametačem (vpředu) [21]	39
obrázek č. 17 – distributor pro aplikaci spojovacích postřiků, cisterna o objemu 5000 l, podvozek Mercedes Benz Antos, vzadu roztahovací lišta do 4 m [21]	39
obrázek č. 18 – souprava pro dopravu kameniva, tahač s hliníkovou vanou a plachtou [21]	40
obrázek č. 19 – ceníková cena opravy povrchu vozovky technologií EMK	45
obrázek č. 20 – ceníková cena opravy povrchu vozovky technologií asfaltového betonu.....	46
obrázek č. 21 – porovnání – vlevo metoda MILL and FILL, vpravo úprava EMK, foceno po 4 letech provozu [26].....	48
obrázek č. 22 – ošetření spojů metodou EMK v šířce 2 stop [26].....	49
obrázek č. 23 – jednovrstvý nátěr [27]	49
obrázek č. 24 – jednovrstvý nátěr s dvojitým podrcením [27]	50
obrázek č. 25 – DUO-BELAG – JN 4/8 + EMK 0/5 [27]	50
obrázek č. 26 – síťové trhliny před opravou technologií DUO-BELAG [27].....	50
obrázek č. 27 – vývrty z opravovaného úseku u obce Mühlviertel [27].....	51
obrázek č. 28 – vybavení laboratoře – horkovzdušná trouba	61
obrázek č. 29 – vybavení laboratoře – laboratorní váha, laboratorní stopky, skleněné odměrné válce s emulzí a vodou, plastový kelímek s cementem, keramická lžička na dávkování a laboratorní teploměr	62
obrázek č. 30 – směs kameniva, cementu a vody připravená pro nalití emulze.....	62
obrázek č. 31 – kalová směs v průběhu míchání	63
obrázek č. 32 – kalová směs při konsolidaci, čistá voda je důkazem přenosu asfaltu na kamenivo	63

obrázek č. 33 – přehled vzorků.....	64
obrázek č. 34 – průběh rychlosti štěpení při teplotě emulze 20 °C	67
obrázek č. 35 – průběh rychlosti štěpení při teplotě emulze 25 °C	69
obrázek č. 36 – průběh rychlosti štěpení při teplotě emulze 30 °C	70
obrázek č. 37 – průběh rychlosti štěpení při teplotě emulze 35 °C	71
obrázek č. 38 – průběh rychlosti štěpení při zvolených sadách kombinací teplot kameniva a emulze.....	76
obrázek č. 39 – rychlost štěpení EMK při teplotě emulze a kameniva 20 °C a různém obsahu vody a cementu	77

Seznam tabulek

tabulka č. 1 – přehled oprav provedených asfaltovým betonem a kalovou vrstvou v tis. m ² [6–16]	16
tabulka č. 2 – zrnitost PDK 0/8 Speciál, Lom Litice	27
tabulka č. 3 – zrnitost DDK 0/8, Lom Loja	27
tabulka č. 4 – měření teploty vzduchu, kameniva, emulze a vody na skládce na stavbě I/22, Klatovy, v srpnu 2020.....	58
tabulka č. 5 – výsledky měření při stanovení vhodné receptury.....	59
tabulka č. 6 – statistické vyhodnocení výsledků zkoušení vhodné receptury.....	60
tabulka č. 7 – výsledky měření	66
tabulka č. 8 – přehled teplot kameniva a rychlosti reakce s emulzí o teplotě 20 °C	66
tabulka č. 9 – statistické vyhodnocení rychlosti štěpení kombinace teplot kameniva a emulze 20 °C.....	67
tabulka č. 10 – přehled teplot kameniva a rychlosti reakce s emulzí o teplotě 25 °C	68
tabulka č. 11 – statistické vyhodnocení rychlosti štěpení kombinace teplot kameniva a emulze 25 °C....	69
tabulka č. 12 – přehled teplot kameniva a rychlosti reakce s emulzí o teplotě 30 °C	70
tabulka č. 13 - statistické vyhodnocení rychlosti štěpení kombinace teplot kameniva a emulze 30 °C.....	71
tabulka č. 14 – přehled teplot kameniva a rychlosti reakce s emulzí o teplotě 35 °C	71
tabulka č. 15 - statistické vyhodnocení rychlosti štěpení kombinace teplot kameniva a emulze 35 °C.....	72

Seznam zkratek a značek

C 60 BP5 – označení typu emulze

B 70/100 – silniční asfalt 70/100

TP 82 – technické podmínky č. 82 vydané Ministerstvem dopravy

PS – postřík spojovací

PI – postřík infiltrační

PR – postřík regenerační

N – nátěr

TM – trysková metoda

EKZ – emulzní kalový zákryt

EMK – emulzní mikrokoberec

EMKR – emulzní mikrokryt

EAS – emulzní asfaltové směsi

RS – recyklace za studena

ČSN – česká státní norma

TDZ – stupeň dopravního zatížení

ACO – asfaltový beton obrusná vrstva

KAE – kationaktivní emulze

RTS – ceník stavebních prací

CZ-ISCO – národní soustava povolání, klasifikace zaměstnání

PHM – pohonné hmoty

SFDI – Státní fond dopravní infrastruktury

SÚS Jčk – Správa a údržba silnic Jihočeského kraje

Úvod

Stručný popis práce

Tato bakalářská práce se zabývá technologií emulzního mikrokoberce, která se používá pro údržbu povrchu pozemních komunikací. Hlavním důvodem pro výběr technologie je prodloužení životnosti obrusné vrstvy v řádu 5–9 let (průměrná doba životnosti je definována v normě ČSN 73 6130 – viz tabulka 9). Smyslem je uzavřít stávající povrch vozovky a zabránit šíření poruch. Použití je vhodné také v úsecích, kde je potřeba dosáhnout lepších protismykových vlastností vozovky (např. sjezdy a nájezdy dálnic) nebo kde je žádoucí tyto vlastnosti obnovit.

Obecné cíle práce

Cílem bakalářské práce je prozkoumat problematiku vlivu teploty emulze a kameniva na pokládku mikrokoberce za studena. Práce je zaměřena na popis principu technologie mikrokoberce a podmínek nutných pro zajištění správné pokládky, popis vlivu technologie na životní prostředí a také na zhodnocení přístupu v ČR a v zahraničí.

1. Kalové vrstvy

1.1. Historie kalových vrstev

Silniční živičné kalové vrstvy (jakožto konzervační metoda povrchu vozovek) jsou spojeny s vývojem vhodných emulzí. Největšího rozvoje bylo dosaženo v USA, přestože technologie pochází z Evropy (přesněji Německa), konkrétně z dvacátých a třicátých let 20. století.

Původně se v Německu používaly dehtové kaly, které se připravovaly dispergováním dehtu na předem vlhčeném kamenivu. Zdrsnění povrchu se dosahovalo přidáním drobného drceného kameniva. Jakost použitého pojiva byla velice nízká, proto úprava nedosahovala požadované kvality.

Teprve výroba emulzí z přírodních asfaltů umožnila obalování drobného kameniva přímo, tím bylo umožněno používat hrubší drcené kamenivo, což vedlo k rozšíření technologie.

Poválečné rozšíření výroby živičných emulzí především v USA dospělo ke vzniku metody Slurry Seal. Slurry Seal je kašovitá kalová směs rozprostřená na povrchu vozovky, tvořící ochrannou vrstvu původního povrchu, ve které jsou zrna zcela obalena asfaltem.



obrázek č. 1 – historická pokládka Slurry Sealu v USA [1]

Další rozvoj technologie byl potom přímo spojen s rozvojem mechanizace. V šedesátých letech 20. století byla předvedena mechanizovaná kontinuální pokládka živičných kalů od firmy Young. Nová technologie se velmi rychle začala šířit zpět do

Evropy. Do tehdejšího Československa byl první kladeč dopraven v roce 1970 [2] a technologie Slurry Seal je u nás používána de facto dodnes. Rozvoj technologie mikrokoberců v našem prostředí odstartoval na počátku devadesátých let 20. století, a to s příchodem tehdejších západoevropských stavebních společností.

1.2. Použití kalových vrstev v silničním stavitelství

Emulzní kalová vrstva je technologie, v níž se používá směs asfaltové kationaktivní emulze a kameniva. Dle úpravy se kalové vrstvy dělí na:

- emulzní kalové zákryty (EKZ) směs s velikostí zrna $D \leq 4$ mm při použití nemodifikované emulze,
- emulzní mikrokoberec (EMK) – směs složená ze dvou frakcí, s velikostí zrna $D \leq 11$ mm při použití modifikované asfaltové emulze,
- emulzní mikrokryt (EMKR) – jde o souvrství jednovrstvého nátěru a jednovrstvého mikrokoberce [3].



obrázek č. 2 –vlevo povrch vozovky před údržbou, vpravo po opravě technologií EKZ [4]

Běžná údržba emulzním mikrokobercem se provádí z důvodu zamezení pronikání vody do konstrukčních vrstev vozovky, omezení šíření trhlin a zlepšení protismykových vlastností povrchu s cílem prodloužit životnost vozovky. Úprava nikdy nezvyšuje únosnost vozovky.

Technologie je navrhována při výskytu poruch typu:

- ztráta protismykových vlastností:
 - ztráta asfaltového tmelu,

- kaverny v obrusné vrstvě,
- koroze EKZ,
- ztráta kameniva z nátěru:
 - hloubková koroze,
- trhliny úzké nepravidelné:
 - široké příčné podélné trhliny,
- nepravidelné trhliny rozvětvené mozaikové [5].

Dalšími možnostmi použití jsou:

- reprofilace povrchu vozovky za použití speciálního rámu pro vyplnění kolejí,
- ochranná vrstva pokládaná na pružné membrány,
- úprava barevného vzhledu – s cílem upozornit na nebezpečná místa a dosáhnout menšího pohlcování světla v nočních hodinách – přidávají se oxidy železa nebo bezbarvá syntetická pojiva s obsahem pigmentu kolem 2 %.

V roce 2019 se v ČR zhruba 20 278 000 m² vozovek opravilo asfaltovým betonem a 1 847 000 m² technologií EMK. Data jsou převzata z přehledu výroby a zpracování materiálů pro stavbu vozovek vydávané Sdružením pro výstavbu silnic. Data zahrnují výkony jak členů organizace, tak i firem mimo sdružení. V tabulce č. 1 je uveden přehled oprav provedených asfaltovým betonem a kalovou vrstvou za poslední dekádu (v tis. m²).

Z přehledu je vidět stoupající tendence využívání technologie EMK a sestupující trend technologie Slurry Seal. Jedná se o logický vývoj, kdy sice obě technologie řadíme do kalových vrstev, ale technologie MK je „vylepšenou“ verzí technologie Slurry Sealu, která jako taková pomalu končí a využívá se již velmi zřídka.

		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
ACO	tis m ²	23 416	21 600	23 009	19 960	19 786	20 979	29 383	22 365	25 460	27 890	20 278
EMK	tis m ²	1 033	1 065	832	1 172	905	868	1 218	1 022	1 251	1 659	1 847
Slurry Seal	tis m ²	329	30	45	38	41	12	13	271	76	3	0

tabulka č. 1 – přehled oprav provedených asfaltovým betonem a kalovou vrstvou v tis. m²

[6–16]

1.3. Živičné emulzní kaly

Emulzní kal je směs složená z emulze, drobného kameniva spojitě zrnitosti, záměšové vody a aditiv. Taková směs je thixotropní, tzn., že může přecházet za stejné teploty z tuhého do kapalného stavu a zpět [2]. Kašovitá směs husté konzistence dovoluje kal rozprostírat na povrch vozovky v jedné i více vrstvách. Štěpením emulze a vypařením či chemickým vytěsněním vody kalová směs tuhne.

1.4. Značení kalových vrstev

Pro kalové vrstvy se používá následující označení dle ČSN 73 6130 (tabulka 1):

- EKZ – emulzní kalový zákryt,
- EMK – emulzní mikrokoberec,
- EMKR – emulzní mikrokryt [5].

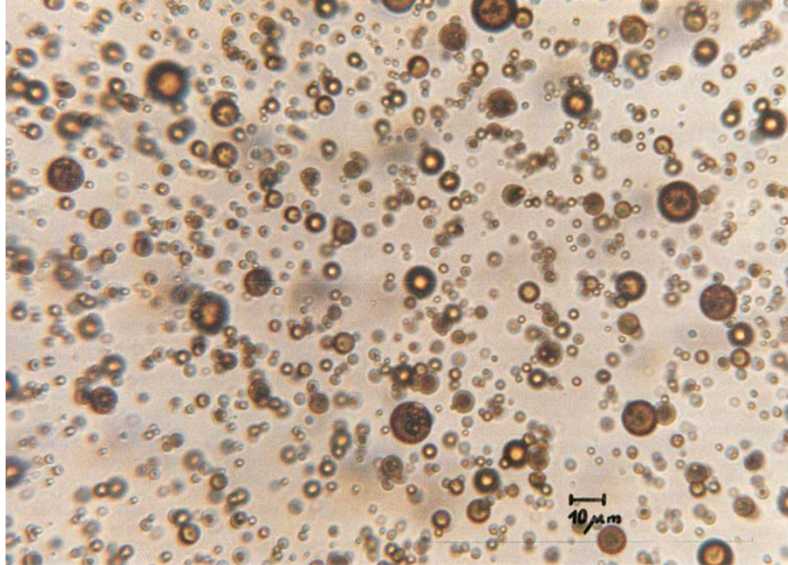
V technické dokumentaci se uvádí druh kalové vrstvy včetně zrnitosti kameniva.

Příklady použití v dokumentaci jsou následující:

- EKZ 0/4 – JV – jednovrstvý emulzní kalový zákryt frakce 0/4,
- EMK 0/5 – JV – jednovrstvý emulzní mikrokoberec frakce 0/5,
- EMK 0/5 + 0/8 – DV nebo EMK 0/8 – DV – dvouvrstvý emulzní mikrokoberec, v první vrstvě frakce 0/5, ve druhé pak 0/8, resp. v obou vrstvách frakce 0/8.

1.5. Asfaltové emulze

Obecně lze emulzi charakterizovat jako disperzi mikroskopických částic jedné kapaliny ve druhé. V případě asfaltové emulze jde o rozptýlení malých částic asfaltu ve vodní fázi. Emulze je stabilizovaná vhodnými emulgátory, které určují polaritu elektrického náboje asfaltu [3]. Velikost částic asfaltové emulze se pohybuje v jednotkách mikronů a určuje ji nastavení štěrbin v koloidním mlýnu.



obrázek č. 3 – mikroskopická fotografie asfaltové emulze [17]

Rozdělení asfaltových emulzí

Silniční asfaltové emulze se dělí do několika skupin:

- Dle náboje:
 - kationaktivní emulze,
 - anionaktivní emulze.

Pozn.: V silničním stavitelství je vyráběno více než 95 % kationaktivních emulzí.

- Dle modifikace:
 - modifikované emulze,
 - nemodifikované emulze [3].

Pozn.: Modifikaci lze provádět dvěma způsoby. Použitím modifikovaného asfaltu (pojiva) nebo použitím nemodifikovaného asfaltu, kdy se emulze modifikuje latexem do vodní fáze při vlastní výrobě.

U některých výrobců v západní Evropě (především v Rakousku a Německu) je navíc rozšířena metoda výroby emulze z modifikovaného pojiva a zároveň modifikace latexem při výrobě emulze do vodní fáze.

Naproti tomu mnozí výrobci (převážně v Polsku, ČR a SR) modifikují své emulze latexem rozmíchaným až ve vyrobené emulzi. Tento způsob modifikace je naprosto nevhodný, protože není zaručeno rozmíchání latexu v emulzi a dochází k rozdělení jednotlivých fází emulze.

- Dle rychlosti štěpení:
 - rychloštěpné emulze,
 - středněštěpné emulze,
 - pomaluštěpné emulze.

Pozn.: Rychloštěpné emulze jsou do třídy 5, středněštěpné jsou třídy 6–8 a pomaluštěpné (někdy označované jako stabilní) jsou třídy 9–10.

- Dle použití:
 - emulze pro postřik spojovací (PS),
 - emulze pro postřik infiltrační (PI),
 - emulze pro nátěr (N),
 - emulze pro tryskovou metodu (TM),
 - emulze pro postřiky regenerační (PR),
 - emulze pro emulzní kalový zákryt (EKZ),
 - emulze pro emulzní mikrokoberec (EMK),
 - emulze pro emulzní mikrokryt (EMKR),
 - emulze pro emulzní asfaltovou směs (EAS),
 - emulze pro recyklaci za studena (RS) [18].

Pozn.: Obsah asfaltu pro jednotlivé druhy emulzí dle účelu jejich použití je stanoven v normě ČSN 73 6132 a pohybuje se od 38 do 65 procent hmotnosti, zbytek tvoří voda a přísady.

Značení emulzí

KAE se klasifikují a označují v souladu s ČSN EN 13 808:2013. Emulze se označují písmenem C s dvojcíslím vyjadřující obsah asfaltu, doplněné o značku druhu pojiva a třídu štěpitelnosti:

- písmeno C značí kationaktivní asfaltovou emulzi,
- číslo vyjadřuje obsah asfaltu,
- písmenem B se vyznačují emulze vyrobené ze silničního asfaltu,
- P značí obsah polymeru v silničním asfaltu nebo přidáný formou latexu,
- F označuje přísadu více než 3 % fluxovadla v asfaltové emulzi,
- číslo pak označuje třídu štěpení [18],
 - C 65 BP5 – obsah silničního asfaltu 65 %, polymerem modifikované emulze, třída štěpení 5 – emulze pro mikrokoberce,
 - C 60 B3 – obsah silničního asfaltu 60 %, třída štěpení 3, použití – emulze do spojovacích postřiků,
 - C 65 BF5 – obsah silničního asfaltu 65 %, emulze fluxovaná, třída štěpení 5 – emulze do spojovacích postřiků.

Pro výrobu emulzních mikrokoberců se používá emulze o obsahu asfaltu 55–65 %.

Princip výroby asfaltových emulzí

Principem výroby je rozptyl horkého asfaltu (cca 130 °C), který se vstříkuje mezi rotor a stator koloidního mlýnu, zde dochází k míchání s předem připravenou vodní fází o teplotě zhruba 70 °C. Emulgátory jsou rozpuštěny ve vodní fázi (v případě modifikace i latex).

Emulze vzniká složitým fyzikálně-chemickým procesem. Zjednodušeně lze proces popsat tak, že na asfaltové kuličce je absorbována vrstva emulgátoru, která se skládá z molekul orientovaných dle charakteru emulgátoru. Tato vrstva je pak překryta vrstvou vázané vody. Každá molekula emulgátoru má část orientovanou k vodě a opačnou část orientovanou k asfaltu. Jelikož jsou molekuly emulgátoru elektricky nabité, dostávají elektrický náboj i emulgované částice [2].

Pro výrobu kationaktivních emulzí se používají emulgátory na bázi aminů vyšších mastných kyselin sloučených s kyselinami. Při výrobě emulzí se do asfaltové fáze mohou přidávat fluxovadla, která snižují viskozitu emulze.

Při aplikaci asfaltové emulze dochází k jejímu štěpení, jde o schopnost znovu se rozdělit na původní složky, tzn., že dochází k oddělení asfaltu od vodní fáze. Štěpení začíná tím, že kamenivo absorbuje emulgátory a vodu na svém povrchu. Snížením

množství emulgátoru a vody v emulzi dochází k porušení chemické rovnováhy, emulze se stává nestabilní, dochází k pohybu části asfaltu a vytvoření asfaltového filmu.

Rychlost procesu štěpení je závislá na:

- chemických vlastnostech emulgátorů,
- pH vodní fáze,
- mineralogických vlastnostech kameniva, velikosti zrn a podílu jemných částic,
- teplotě.

Výroba emulzí

Základními komponenty pro výrobu silniční emulze jsou asfalt, voda, emulgátory, kyselina chlorovodíková a chlorid vápenatý.

Pro výrobu emulzí se používá silniční asfalt B 70/100. Asfalt je dopravován k emulgační stanici pomocí železničních nebo silničních cisteren, odkud se přečerpává do skladovacích zásobníků, které jsou vytápěny (elektricky nebo plynem).

Voda musí splňovat předpoklady pro pitnou vodu a před napuštěním do provozních nádrží je ohřátá ve skladovací nádrži na teplotu 70 °C.

Emulgátory a ostatní chemie jsou specifikovány dle daného typu emulze a receptury výrobce.

Pro samotnou výrobu pak rozeznáváme dva hlavní komponenty – vodní fázi a asfalt. Vodní fáze je roztokem vody, emulgátoru a kyseliny.

Vodní fáze se připravuje samostatně v oddělené nádrži, a to šaržovým způsobem. Do nádrže se napustí voda o teplotě 70 °C a zároveň se za kontinuálního míchání dávkuje emulgátory a kyseliny. V případě výroby modifikované emulze z nemodifikovaného pojiva, se do vodní fáze dávkuje i latexu.

Asfalt o teplotě 130 °C je před výrobou přečerpán ze skladovací nádrže do nádrže provozní.

Z nádrže na vodní fázi a provozní nádrže na asfalt se dávkuje oba hlavní komponenty do koloidního mlýnu, kde dojde ke smíchání asfaltu a vodní fáze. Z koloidního mlýnu putuje již hotová emulze o teplotě cca 90 °C vyhřívaným potrubím do skladovacích nádrží, kde se zvolna ochlazuje.

Koloidní mlýn

Výroba asfaltových emulzí probíhá v zařízení, které se nazývá koloidní mlýn. Jeho název je odvozen od koloidního charakteru vyráběných malých částic. Principem

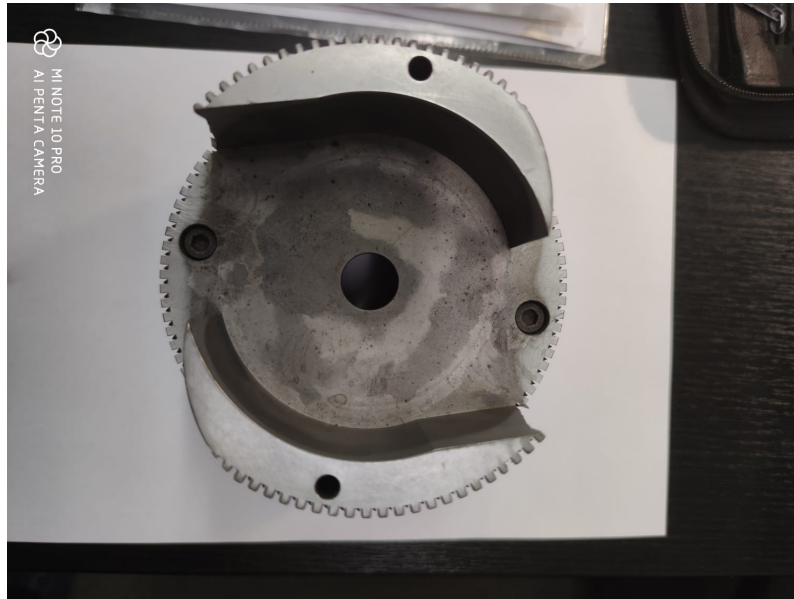
je vtlačování asfaltu do malé mezery (setiny milimetru) mezi rotorem a statorem a působení velkých otáček [2]. U kvalitních zařízení bývá mezera stavitelná. Rotory se otáčejí rychlostí až 7000 otáček za minutu. Dnešní koloidní mlýny mají výkon kolem 45–50 tun emulze za hodinu.



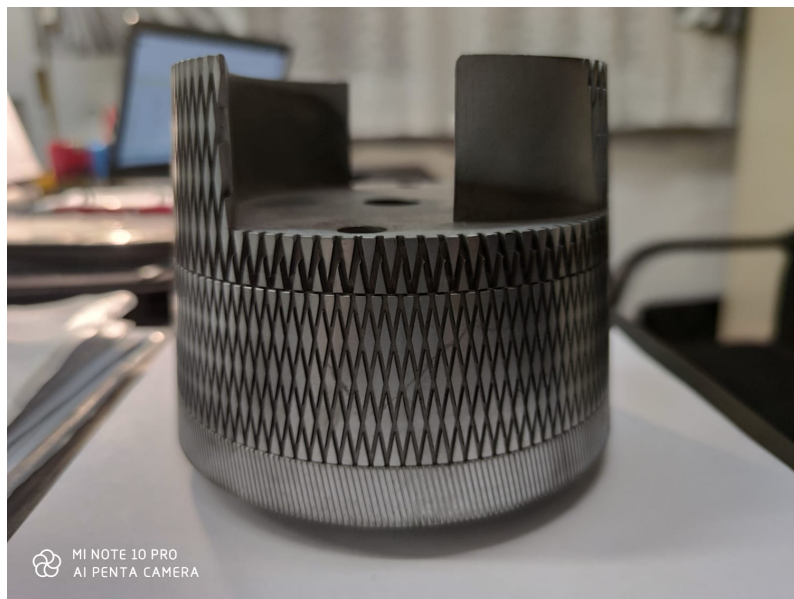
obrázek č. 4 – koloidní mlýn IKA společnosti Vialit Soběslav, s. r. o., vlevo automatický řídicí systém pro ovládání vodní fáze a řízení výroby [20]



obrázek č. 5 – koloidní mlýn, v pozadí 2 nádrže na přípravu vodní fáze [20]



obrázek č. 6 – vnitřní rotor koloidního mlýnu, půdorys [21]



obrázek č. 7 – vnitřní rotor koloidního mlýnu, boční pohled [21]

Skladování emulzí

Ve skladovacích zásobnících probíhá pozvolné promíchávání emulze zhruba 15 minut každé 2 hodiny. Skladovatelnost hotové emulze je dána velikostí částic, čím jemnější emulze je, tím je déle skladovatelná. Pro účely pokládky kalových vrstev jsou zapotřebí alespoň dva zásobníky s kapacitou dosahující 3–4 dní požadavků pokládky. V jednom zásobníku chladne již vyrobená emulze, do druhého se pak vyrábí nová emulze.

Přeprava emulzí

Pro přepravu emulze na stavbu se používají vhodné přepravní cisterny nebo distributory. Emulze se do přepravních cisteren plní buď horními otvory, nebo ji lze přivádět plnicím potrubím. Záleží, zda má přepravní zařízení čerpadlo, či nikoliv.

1.6. Kamenivo pro kalové vrstvy

Kvalita kameniva je z hlediska kalových vrstev zásadní. Závisí na ní úspěch kalové vrstvy jako takové. Ekologické a ekonomické hledisko proto u kameniva nejsou zásadními faktory pro výběr vhodného lomu. Naopak je nutné zohlednit především kvalitativní parametry a dovážet kamenivo i na větší vzdálenost.

Rychlost štěpení kalové vrstvy je při použití pouze drceného kameniva velmi krátká, proto se pro kalové vrstvy používá směs drceného a těžného kameniva. Účelem příměsi těžného kameniva je upravit štěpnou dobu kalu do požadovaných mezí.

Kamenivo nesmí obsahovat jílovité nebo organické příměsi. Vhodnost kameniva pro kalové směsi se posuzuje podle zrnitosti směsi kameniva a slučitelnosti s danou emulzí. Slučitelnost je dána chemickými vlastnostmi kameniva, které zajišťují spojení s emulzí pro kalové vrstvy. Zrnitost směsi ovlivňuje mezerovitost, vodotěsnost a životnost položení kalové vrstvy.

Praktické zkušenosti ukázaly, že kvalita kameniva z jedné lokality značně kolísá, a to jak z pohledu zrnitosti, tak i z pohledu podílu jemných částic, proto je důležité kontrolovat kamenivo průběžně. Kontrola se provádí síťovým rozborem a zkouškou štěpení s vyrobenou emulzí (smícháním malého množství emulze s kamenivem a změřením času, kdy začne směs štěpit). Zkouška štěpení se provádí také před začátkem pokládky. Výsledek zkoušky umožňuje upravit dávkování přísad, které štěpení zrychlí nebo zpomalí na požadovaný čas.

Velmi důležité je průběžně sledovat vlhkost kameniva na skládce. Běžný obsah vlhkosti v kamenivu se pohybuje kolem 5 %, při deštivém počasí jde však o vlhkost až 10 %. Důležitou vlastností kameniva je růst objemové hmotnosti kameniva s přibývajícím vlhkostí.

Doprava kameniva z lomu je prováděna silničními nákladními vozidly se sklopnými návěsy. Při přepravě je nutné kamenivo zaplachtovat, aby nedocházelo ke ztrátě jemných frakcí a k zašpinění organickými hmotami.

Někteří výrobci dováží namíchané kamenivo z lomu přímo na skládku, kde probíhá pokládka. Jiní sváží jednotlivé frakce kameniva na mezideponii, kde dochází k míchání a následné distribuci na skládku v místě stavby [2].

Z pohledu kvality se jako nejlepší jeví varianta namíchání v lomu dle předem stanovené křivky zrnitosti a vlhkosti, s následnou dopravou přímo na stavbu.

Požadované vlastnosti kameniva jsou definovány v ČSN EN 13 043 – Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch. Dodavatel kameniva musí zajistit počáteční zkoušku typu a kamenivo musí splňovat následující zkoušky:

- geometrické vlastnosti – zrnitost a obsah jemných částic, kvalita jemných částic a tvarový index,
- mechanicko-fyzikální vlastnosti – odolnost proti drcení, ohladitelnost pro povrchové vrstvy, obrusnost, nasákavost,
- chemické zkoušky – chemické vlastnosti kameniva [19].



obrázek č. 8 – foto DDK 0/5, lom Loja, Rakousko [20]

Obrázky č. 8 a 9 jsou fotografie speciální směsi drceného kameniva vhodného pro pokládku mikrokoberce. Na obrázku č. 8 je zrnitost 0/5, na obrázku č. 9 pak zrnitost 0/8. Pro směs jsou důležité jak jemné částice, tak i maximální velikost a tvar zrn. Do směsi je přimícháván křemičitý písek, který pomáhá zpomalovat reakci s emulzí.



obrázek č. 9 – foto kamenivo DDK 0/8, lom Loja, Rakousko [20]

Pro míchání směsi EKZ je možné dle normy použít kamenivo frakce 0/2, 0/4, 2/4 a 2/5. Pro EMK lze využít kamenivo frakce 0/2, 0/4, 2/4, 2/5, 4/8, 5/8 a 8/11. Z uvedených frakcí kameniva se připraví EKZ frakce 0/4 a EMK frakce 0/5, 0/8 nebo 0/11. Směs musí vyhovět mezní čáře zrnitosti dle ČSN 73 6130 (tabulka 6).

Na obrázku č. 10 je znázorněna zrnitost PDK 0/8 Speciál pro mikroberce z lomu Litice. Lom provozuje společnost Eurovia Kamenolomy, a. s., a nachází se v západních Čechách, nedaleko Plzně. Z uvedené křivky je patrné, že splňuje mezní křivku zrnitosti dle ČSN 73 6130. V tabulce č. 2 jsou uvedeny naměřené a požadované hodnoty zrnitosti. Data jsou převzata z interních dokumentů společnosti Vialit Soběslav.

Společnost Vialit Soběslav má na základě 30letých zkušeností s pokládkou emulzních kalových vrstev vytvořen vlastní interní předpis pro požadovanou zrnitost, která má menší rozpětí mezi horní a dolní mezí. Zrnitosti z lomu Litice tento předpis nesplňuje. Zkušenosti ukázaly problémy s rychlou štěpnou reakcí při smíchání s emulzí, způsobené nestabilitou chemických vlastností a nevhodného poměru frakcí kameniva. Směs z lomu Litice je míchána z frakcí 0/2, 2/4 a 4/8 v předepsaném poměru, ale má malý poměr frakce 4/8 a méně jemných částí 0,063 mm, které pak chybějí jako výplňový filer mezi zrny.

Na obrázku č. 11 je uvedena zrnitost směsi DDK 0/8 z lomu Loja, který provozuje společnost Bernegger GmbH v Rakousku. Z křivky je patrné, že splňuje jak ČSN 73 6130, tak i interní předpis společnosti Vialit Soběslav. Směs je míchána přímo v lomu, z pěti různých frakcí včetně křemičitého písku ze Slovenska. V tabulce č. 3 jsou

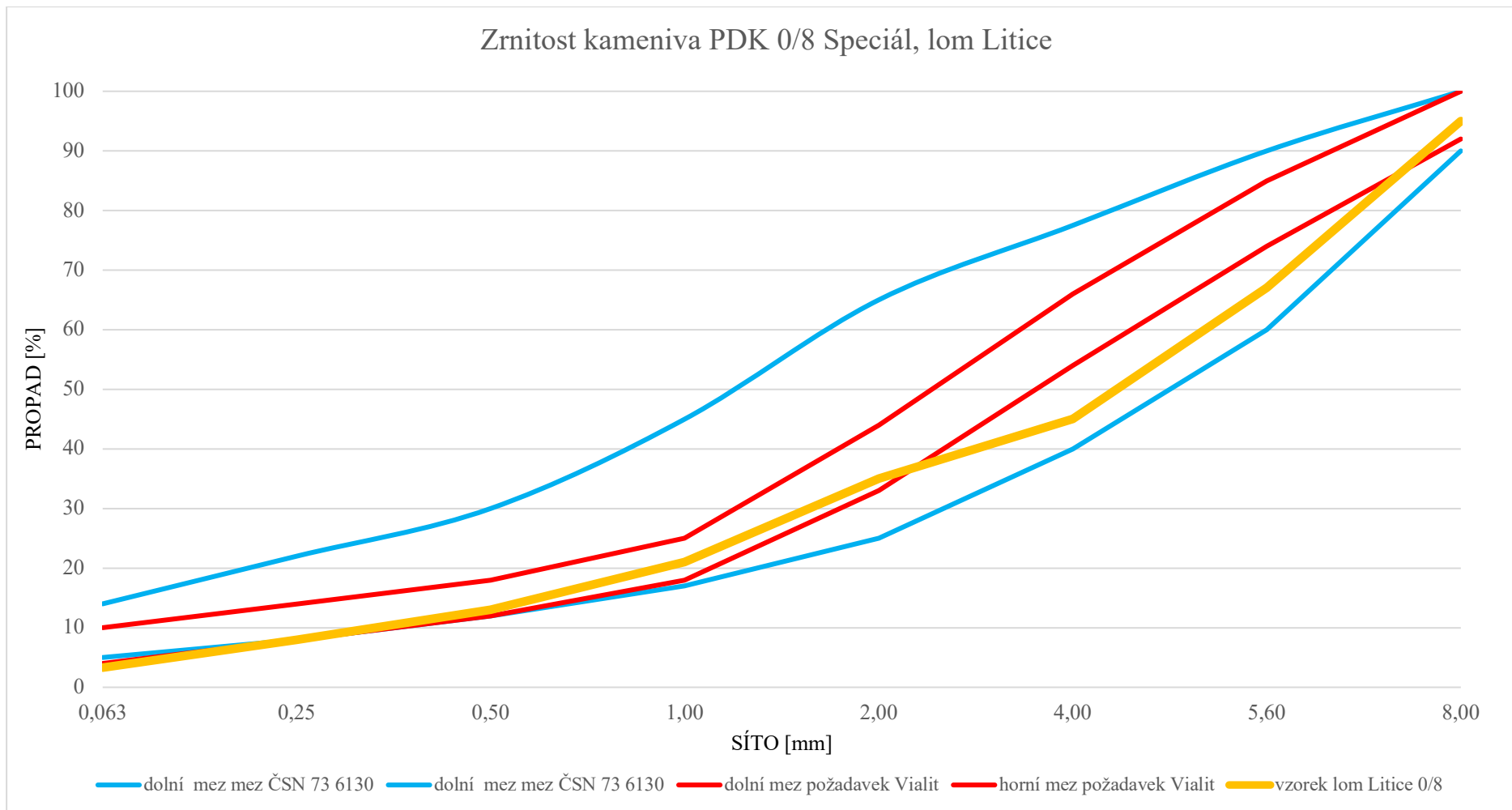
uvedeny naměřené a požadované hodnoty zrnitosti. Data jsou převzata z interních dokumentů společnosti Vialit Soběslav.

propad síťovými otvory [mm]	propad na síť [%]	dolní mez dle ČSN 73 6130	horní mez dle ČSN 73 6130	interní předpis Vialit dolní mez	interní předpis Vialit horní mez
0,063	3,3	5,0	14,0	4,0	10,0
0,250	8,0	8,0	22,0	8,0	14,0
0,500	13,0	12,0	30,0	12,0	18,0
1,000	21,0	17,0	45,0	18,0	25,0
2,000	35,0	25,0	65,0	33,0	44,0
4,000	45,0	40,0	77,5	54,0	66,0
5,600	67,0	60,0	90,0	74,0	85,0
8,000	95,0	90,0	100,0	92,0	100,0
11,200	100,0	100,0		100,0	

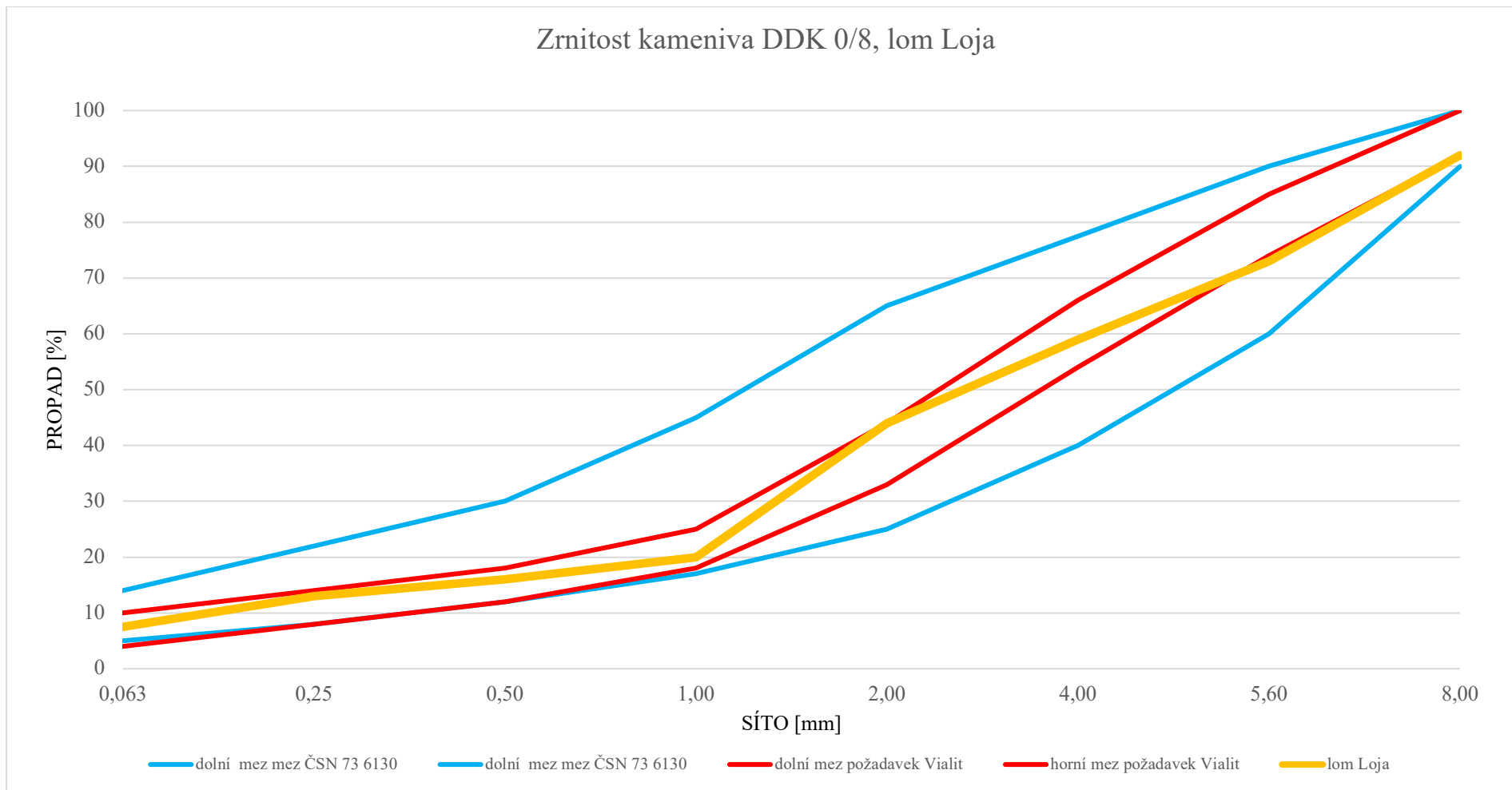
tabulka č. 2 – zrnitost PDK 0/8 Speciál, Lom Litice

propad síťovými otvory [mm]	propad na síť [%]	dolní mez dle ČSN 73 6130	horní mez dle ČSN 73 6130	interní předpis Vialit dolní mez	interní předpis Vialit horní mez
0,063	7,5	5,0	14,0	4,0	10,0
0,250	13,0	8,0	22,0	8,0	14,0
0,500	16,0	12,0	30,0	12,0	18,0
1,000	20,0	17,0	45,0	18,0	25,0
2,000	44,0	25,0	65,0	33,0	44,0
4,000	59,0	40,0	77,5	54,0	66,0
5,600	73,0	60,0	90,0	74,0	85,0
8,000	92,0	90,0	100,0	92,0	100,0
11,200	100,0	100,0		100,0	

tabulka č. 3 – zrnitost DDK 0/8, Lom Loja



obrázek č. 10 – zrnitost kameniva PDK 0/8 Speciál, lom Litice



obrázek č. 11 – zrnitost kameniva DDK 0/8 lom Loja

1.7. Voda jako složka v kalové vrstvě

Při míchání živичného kalu je velmi důležitá voda a její dávkování. Používaná voda musí mít stejné parametry jako pitná voda, nesmí být znečištěna organickými látkami a hlinitými složkami. Voda se do směsi dostává několika způsoby:

- s emulzí, v níž je obsaženo zhruba 35 % vody,
- jako přirozená vlhkost kameniva (5–10 % váhy kameniva),
- voda dávkovaná přímo do míchačky [2].

Množství vody v kamenivu (stejně jako vody ve vyrobené emulzi) je při začátku pokládky dané, upravovat ho je možné pouze dávkováním vody do míchačky. Dávkováním vody se zajišťuje správná konzistence směsi. Množství vody ovlivňuje koncentraci asfaltu na povrchu zrn kameniva a konzistenci kalu při rozprostírání.

U suchého kameniva dochází k rychlejší štěpné reakci, než je tomu v případě kameniva vlhkého. Je to dáno vázáním vody na styčných plochách zrn. Při kontaktu emulze s kamenivem se emulze stává nestabilní a začíná proces štěpení. Rychlost štěpení je nestejněměrná a způsobuje i nestejněměrnou koncentraci asfaltu na povrchu kameniva. Z toho důvodu je přidávání vody do míchačky v průběhu pokládky naprosto nezbytné. V závislosti na vlhkosti kameniva se množství vody dávkované do míchačky pohybuje od 1 do 10 %.

Malé množství vody způsobuje přílišnou hustotu směsi a špatné rozprostírání kalu, který štěpí předčasně.

Velké množství vody naopak zapříčiní, že kal je řídký, rozprostírání snadné, avšak přebytečná voda narušuje stabilitu a odplavuje emulzi (a tím i asfalt). Příliš velkou dávkou vody není možné dosáhnout požadovaného zbytkového asfaltu, v konečném důsledku se kalový kryt rychleji opotřebovává a snižuje se životnost.

1.8. Přísady

Přísady se používají pro regulaci doby štěpení – zpomalování nebo zrychlování, a to právě ve chvíli, kdy klesá nebo stoupá okolní teplota.

Doba štěpení se reguluje nejčastěji pomocí portlandského cementu, hašeného vápna nebo popílku. Cement absorbuje vodu z emulze, čímž zrychluje proces štěpení. Cementem lze proces štěpení i zpomalovat, záleží však na druhu cementu, typu emulze a kameniva. Vápenný hydrát $CA(OH)_2$ zlepšuje funkční vlastnosti (přilnavost ke kamenivu,

zlepšuje stabilitu a trvanlivost kameniva s obsahem jílových částic, snižuje účinky stárnutí směsi) a prodlužuje dobu štěpení [22].

Pro pokládku kalové směsi udává ČSN 73 6130 minimální teplotu vzduchu 10 °C, ideální teplota je však mezi 15 až 25 °C. Horní hranice není definována, ale na základě zkušeností lze konstatovat, že jakmile se teplota vzduchu přiblíží k hodnotě 30 °C, má povrch komunikace teplotu kolem 50 °C, čímž pokládka začíná být velmi složitá, jelikož se rychlost štěpení skokově zrychluje.

System řízení výroby u výrobce dle ČSN EN 12 273 definuje odpovědnost a pravomoci pracovníků upravit množství přísad až na staveništi, a to podle aktuálních klimatických podmínek.

2. Technologie pokládky mikrokoberců

Pokud správce komunikace rozhodne o vhodné údržbě povrchu technologií mikrokoberce, zhotovitel musí nejen obstarat prostory pro skládku kameniva a doplňování hmot, ale také zajistit dopravně-inženýrské opatření.

Pokud to okolnosti vyžadují, je před vlastní pokládkou mikrokoberce potřeba provést výpravu asfaltovým betonem (v předstihu alespoň 4 týdnů) nebo ošetření velkých trhlin. Provádí-li se pokládka na cementobetonové povrchy, utěsní se spáry mezi betonovými deskami vhodnou zálivkou (např. D11 v úseku km 0,00–8,00).

2.1. Pokládka mikrokoberců

Zásadním předpokladem pro životnost opravy kalovými směsmi je dokonalé spojení s podkladem a proniknutí směsi do všech míst povrchu. To lze splnit pouze při dokonalém očištění povrchu.

Pro očištění lze použít mechanické zametače nebo splachování tlakovou vodou z kropickek. V evropských zemích je rozšířené používání tlakových ofukovacích zařízení, což je velmi účinná metoda odstranění nečistot.

Velmi problematické je znečištění jílovitými a hlinitými nálepkami, které bývají rozježděny provozem [2]. Kvůli tomu nelze tyto nečistoty odstranit standardní cestou, je proto nutné použít ruční škrabky. V závěru stavební sezony (konec září) je navíc problémem spadané mokré listí.

Po důkladném očištění povrchu vozovky se provádí aplikace spojovacího postřiku z modifikované emulze v dávkování 0,10–0,25 kg/m² [23]. Dávkování je uvedeno ve zbytkovém množství asfaltu. Pokládka kalových vrstev se provádí až na vyštěpený spojovací postřík. Z důvodu použití rychloštěpných emulzí štěpení probíhá velmi rychle. Vynechání spojovacího postřiku má za následek zkrácení životnosti mikrokoberců zhruba na polovinu a porušení soudržnosti s podkladní vrstvou.



obrázek č. 12 – aplikace spojovacího postřiku na silnici I/3 u Plané nad Lužnicí [18]

Pokládka kalových vrstev se provádí pomocí speciálních kladečů – jedná se o jednoúčelové stroje, které připravují a rozprostírají kal kontinuálně.

Postupuje se v takových pruzích, které odpovídají šířce jízdního pásu. Rozhodnutí, kde se začne s pokládkou a jakým směrem, závisí hlavně na směru stoupání, poloze skládky, frekvenci vozidel a celkové šířce opravované komunikace. Tato volba je velmi důležitá z pohledu ochrany hotové vrstvy do konce konsolidace před poškozením od silničního provozu.

Základním požadavkem přípravy směsi je přesné dávkování. Před začátkem vlastní pokládky musí operátor ověřit recepturu na ručně vyrobeném vzorku mikrokoberce. Pokud vzorek splní předepsané parametry (rychlost štěpení a dobu konsolidace), zvolí operátor druh programu a ručně koriguje pouze obsah vody nebo cementu, a to v desetinách procent. Automatizací je zajištěna vysoká kvalita směsi.

Zároveň se přesvědčí, že jsou všechny komponenty doplněny a že funguje míchačka i dávkování jednotlivých surovin do míchačky.

Ze zásobníků kladeče jsou do míchačky dávkovány základní komponenty – kamenivo, emulze, cement a voda. Kamenivo je do míchačky dopravováno pomocí podávacího pásu.

Cement je dávkován přímo na kamenivo ještě před vstupem do míchačky. Voda s emulzí je dávkována hadicemi do míchačky. V míchačce se kontinuálně připravuje kalová směs, jež odchází výpustí do kladecího rámu, kde jsou příčně umístěny dvě řady šneků, které směs domíchávají a rozprostírají po celé šířce rámu.

Po najetí kladeče na výchozí místo pokládky provede operátor na liště nastavení tloušťky pokládané vrstvy a celkové seřízení tvaru lišty. Lišta musí být nastavena tak, aby směřovala kolmo k ose pokládky. Operátor pustí vodu na chlazení splazů lišty (jedná se o kovovou ližinu, po které je tažen rám) a řidič spustí kropení na kola soupravy, aby se nelepila při pojezdu po vyštěpeném spojovacím postříku. Vedoucí pokládky ověří funkční spojení mezi řidičem a operátorem na liště, zkontroluje nastavení receptury ovládacího panelu a také to, že funguje řízení silničního provozu a nehrozí nebezpečí poškození čerstvě položené vrstvy či ohrožení pracovníků směny a projíždějících řidičů.

Operátor na liště spustí program, který otevře ventily jednotlivých složek a uvede do provozu podávací pás s kamenivem. Jednotlivé komponenty se dávkují do míchačky a po zamíchání začne kalová směs vytékat z míchačky do rámu, kde probíhá rozprostírání kalové směsi. Jakmile je lišta po celé šířce zaplněna zhruba do poloviny, dá operátor pokyn řidiči, aby se rozjel.

Rychlost pokládky musí být plynulá. Operátor pravidelně komunikuje s řidičem a vzájemně upravují rychlost jízdy takovým způsobem, aby v rámu bylo vždy optimální množství kalu. V případě velkého množství kalu by došlo k předčasnému vyštěpení. Během pokládky se řidič stará především o udržení správného směru.

Rychlost pokládky závisí na drsnosti povrchu a rovinatosti úseku. Hladké povrchy mají nižší spotřebu kalu než povrchy drsné, proto je pokládka rychlejší. Otevřené nebo nerovné povrchy mají vyšší spotřebu kalu na jednotku plochy, a proto vyžadují pomalejší jízdu. Rychlost pojezdu kladeče je zhruba 25–30 m/min.

Vhodná konzistence kalu při pokládání je taková, která se velmi dobře rozprostírá, ale neroztéká se. Díky ověření správné receptury na vzorku není nutné, aby operátor v průběhu pokládky měnil nastavení dávkování komponentů, v malém rozsahu pouze reguluje dávkování vody nebo cementu. Dávkování záměsové vody je velmi často zdrojem chyb při pokládce. Operátor v průběhu pokládky sleduje množství komponentů v zásobnících. Řídicí počítač dnes ukazuje celkovou spotřebu na danou pokládku, není proto problém velmi přesně odhadnout konec pokládky. Před nástupem moderní počítačové techniky závisel odhad především na zkušenostech posádky, kdy operátor věděl, kolik otáček dávkovacích mechanismů bylo při stejném plnění zásobníků přibližně potřeba k vyprázdnění násypky kameniva.

Kladecí rám je tažen za kladečem. Před začátkem pokládky pomocný personál na liště nastaví požadovanou výšku kladecího rámu nad niveletou vozovky a příčný sklon. Vzniklou mezerou mezi vozovkou a rámem je za pomoci plechové nebo gumové lišty rozprostírána kalová směs.

Kritickými body pokládky jsou čistota kladecího rámu (před zahájením pokládky) a kameniva pro eliminaci podélných rýh v pokládané směsi a správné nastavení výšky kladecího rámu.

Požadovaná doba štěpení směsi je 90–300 sekund, což je doba potřebná ke smíchání směsi a jejímu rovnoměrnému rozprostření v kladecím rámu a na povrch vozovky. Štěpení musí začít až po rozprostření kalové vrstvy na povrch vozovky. Kratší doba štěpení způsobí vyštěpení směsi v kladecím rámu. V takovém případě se směs sice rozprostře, ale ihned po konsolidaci se začne projevovat snížená soudržnost. Při pokládce navíc vzniknou hrudky (vyštěpená směs na rámu), které vytvoří podélné rýhy. V takovém momentě se musí pokládka okamžitě zastavit, rám vyčistit (opálit) a úsek opravit [2].

Dlouhá doba štěpení prodlužuje dobu konsolidace, což oddaluje opětovné obnovení provozu a zvyšuje nebezpečí poškození položené vrstvy kalové směsi [2].

Na rychlost doby štěpení má vliv správné nastavení receptury emulze, druh a vlhkost kameniva, množství přidané vody a cementu a teplota vzduchu.

Základním požadavkem přípravy směsi je přesné dávkování. Obsluha zvolí druh programu a ručně koriguje pouze obsah vody nebo cementu, a to v desetinách procent. Automatizací je zajištěna vysoká kvalita směsi.

Před vznikem plně automatických kladečů bylo dávkování, míchání i kladení směsi manuálně ovládáno kohouty. Obsluha nastavovala i rychlost pojezdu podávacího pásu s kamenivem a cementem. Celkový výsledek byl velmi závislý na zkušenostech strojníka. Snahou obsluhy v hraničních teplotách ovzduší (přes 30 °C) bylo ulehčení práce a dávkování vyššího obsahu vody. V konečném důsledku tak docházelo k přesycení asfaltem a vytvoření hladkého povrchu s chybějícími smykovými vlastnostmi, nebo naopak k nižšímu dávkování emulze s výsledkem předčasného vyštěpení směsi a snížení životnosti kalové úpravy [2].

Optimální rozsah teplot vzduchu vhodných pro pokládku se pohybuje v rozmezí 15–25 °C. Kalová směs může být rozprostřena na povrch pouze v nevyštěpeném stavu. Ihned po rozprostření má dojít ke štěpení.

Štěpení se projevuje tvorbou bublin vody na povrchu vrstvy, tzn., že se vytěsňuje emulzní voda. Pokud se ani po několika minutách vytěsněná voda neobjeví, je směs předávkována stabilizátorem.

V době, kdy se z povrchu směsi již odpařila vytěsněná voda a kal je už tuhý a vhodný pro poježdění vozidel, ještě stále probíhá konsolidace. Chemicky vytěsněná voda zanechává v kalu zhruba 20–30 % pórů z celkového objemu krytu. Dokud je kalový zákryt pórovitý, je i jeho mechanická pevnost malá. Je proto důležité po 1–2 hodinách od pokládky obnovit provoz, který hutní položenou vrstvu. Konsolidace je ukončena až po komprimaci kalové vrstvy [2].



obrázek č. 13 – vlevo čerstvě položený EMK 0/5, vpravo pokládka z předešlého dne [18]



obrázek č. 14 – čerstvě položený mikrokoberec 0/5, začátek štěpení, směs je tmavě černá
[18]

2.2. Obsluha kladečích soupravy

Obsluhu kladečích soupravy tvoří řidič tahače kladečích mixu, operátor obsluhující míchačku a kladečích rám a pomocná síla. Řidič je ve spojení s operátorem, který zajišťuje pokládku, hlídá správnou rychlost jízdy a případně koriguje recepturu v průběhu pokládky. Pomocné pracovní síly jdou za kladečích rámem, každá z jedné strany, odstraňují drobné závady v položené směsi a kontrolují tloušťku pokládané vrstvy. Jakýkoliv ruční zásah je však opticky viditelný, proto je vhodné do pokládky zasahovat co nejméně.

2.3. Úprava povrchu kalového krytu

Hutnění kalové vrstvy válcováním se provádí na vozovkách nadměrně namáhaných smykovými silami (v obloucích, křižovatkách, odbočovacích pruzích) a v místech, kde není zajištěno dostatečné zhutnění od projíždějících vozidel [24].

Pro hutnění kalových vrstev jsou vhodné pneumatické válce o váze do 6 tun. Zpravidla se hutní pěti až šesti pojezdy v jedné stopě. S hutněním se začíná až po vyštěpení směsi, tzn. v době, kdy emulzní voda vystoupila k povrchu. Hutnění bezprostředně po položení směsi by mělo za následek zatlačení emulzní vody do kalové směsi, povrch by se uzavřel a ztížilo by se vystoupení emulzní vody na povrch.

Praktickými zkušenostmi bylo zjištěno, že u málo pojížděných ploch, jako jsou odstavná parkoviště a odstavné pruhy, lze mikrokoberce hutnit i druhý den po pokládce.

2.4. Vyluka dopravního provozu

V porovnání s rekonstrukcemi, kdy je provoz vyloučen po dobu několika měsíců, je při opravě mikrokobercem dopravní provoz pouze dočasně omezen (v řádu několika hodin) a řízen prostřednictvím semaforů nebo pomocné pracovní síly vybavené vysílačkami. V poslední době se tento model osvědčuje, protože dokáže reagovat na aktuální situaci dopravního provozu. Na opravovaném úseku je doprava omezena pouze do ukončení fáze konsolidace (cca 2 hodiny), pak je provoz znovu obnoven, ovšem s omezením rychlosti na 30–50 km/h. Omezení rychlosti se stanovuje dle místních podmínek a může platit až 24 hodin.

2.5. Mechanismy pro pokládku mikrokoberce

Veškeré mechanismy pro pokládku kalových vrstev se dělí na:

- mechanismy pro přípravu a dopravu kameniva,
- mechanismy pro přípravu povrchu před pokládkou – zametače, kropičky, distributory,
- mechanismy pro zásobování kladeče – cisterny, nakladače, sklápěče,
- mechanismy pro výrobu a pokládku kalové vrstvy – kalové mixy a kladeče,
- mechanismy pro úpravu kalové vrstvy – válce [2].



obrázek č. 15 – souprava pro pokládku mikrokoberce společnosti Vialit Soběslav – tahač MAN s kladecím mixem Schäfer Technic SMS 10 000 [21]



obrázek č. 16 – nákladní automobil s hydraulickou rukou pro nakládku kameniva (vzadu)
a mechanickým zametačem (vpředu) [21]



obrázek č. 17 – distributor pro aplikaci spojovacích postřiků, cisterna o objemu 5000 l,
podvozek Mercedes Benz Antos, vzadu roztahovací lišta do 4 m [21]



obrázek č. 18 – souprava pro dopravu kameniva, tahač s hliníkovou vanou a plachtou [21]

2.6. Výkon kladeče mikrokoberce

Pracovní výkon kladeče je určen velikostí plochy opravovaného úseku a objemem zásobníků kladečího mixu. Pokládka probíhá v opakovaných cyklech a skládá se ze dvou hlavních složek:

- pokládka – proces, kdy kladeč míchá a rozprostírá kalovou směs,
- mytí a doplňování – proces, kdy se myje kladečí rám po předchozí pokládce a plní se zásobníky novou dávkou komponentů pro přípravu směsi, proces zahrnuje také dobu jízdy na skládku.

Rychlost pokládky je dána konstrukčním uspořádáním kladeče, požadavkem na tloušťku vrstvy, šířkou pokládky a povrchem vozovky. Při standardní šířce kolem 3,5–4 metrů se doba položení zhruba 18 tun směsi pohybuje kolem 20 minut. Teoreticky se dá předpokládat výkon cca 900 kg/min.

Rychlost mytí a doplňování komponentů je závislá na organizaci práce, vzdálenosti stavebního úseku od skládky a výkonu nakládacích mechanismů [2]. Organizace tvoří jednu z hlavních rezerv pro zvyšování výkonu. Dobrá organizace omezuje prostoje zaviněné nedostatkem surovin nebo špatně koordinovanou přípravou staveniště, navíc ovlivňuje pracovní kázeň a omezuje chyby.

Doplňování hmot se dělí na doplnění pouze kameniva a doplnění všech směsí. To obecně závisí na konstrukci kladecího mixu, ale dá se říct, že u velkokapacitních mixů se kamenivo doplňuje každou nakládku, emulze a voda pak každou druhou nakládku. Doplnění kameniva trvá 20–30 minut, doplnění všech komponentů pak 45–60 minut (ideálně probíhá paralelně, čímž se značně zvýší rychlost doplňování).

Voda a emulze se dopravuje cisternami přímo na skládku kameniva. Kamenivo je dopravováno vhodnými dopravními prostředky.

Nakládka kameniva se provádí hydraulickou rukou s drapákem, šnekovými nakladači nebo čelními nakladači. Při výběru místa pro skládku kameniva je důležité najít místo se zpevněným a čistým podkladem. Nezpevněný povrch skládky zvyšuje riziko znečištění kameniva jílovitými nebo hlinitými složkami, případně jinými frakcemi drobného kameniva. Voda a emulze se přečerpávají přímo z cisteren do zásobníků na kladeči.

Společnost Vialit Soběslav zakoupila v roce 2016 moderní kladeč mikrokoberců od společnosti Schäfer Technic, model SMS 10 000. Jedná se o dvounápravové míchací zařízení tažené tahačem MAN TGS L.2007.46, s převodovkou speciálně upravenou do malých rychlostí. Výhodou upravené převodovky je, že se tahač při otáčkách v zeleném poli a zařazeném stupni 1 pohybuje rychlostí 25 m/min – nedochází tak k nadměrnému opotřebení spojky nebo nepravidelné rychlosti pokládky.

Rozměry kladeče jsou – délka: 9700 mm, šířka: 2550 mm, výška: 3650 mm.

Objemy nádrží jsou – násypka na kamenivo: 10 m³, nádrž na emulzi: 5200 l, nádrž na vodu: 4300 l.

2.7. Zkouška mikrokoberce

Zkoušky typu

Zkoušky typu jsou splněny předložením příslušného protokolu o počáteční zkoušce typu dle ČSN EN 12 273.

Kontrolní zkoušky

Kontrolní zkoušky se provádějí pro zjištění shody s požadavky zkoušky typu. Zhotovitel ověřuje:

- vlastnosti asfaltové emulze:
 - obsah asfaltu dle ČSN EN 1428,

- zbytek na síť dle ČSN EN 1429,
- vlastnosti kameniva:
 - zrnitost dle ČSN EN 13 043,
 - jemné částice dle ČSN EN 13 043.

Zkouška při provádění prací

Při provádění mikrokoberce se zkoušejí následující kvalitativní parametry kalové vrstvy:

- stanovení zbytkového obsahu asfaltu dle ČSN EN 13 808 a ČSN EN 14 023 (provádí se jedenkrát na každou dodávku menší než 100 t nebo jedenkrát na každých 100 t dodávky),
- stanovení pokládaného množství (průběžně na každé stavbě dle uzavřené smlouvy),
- zjevné vlastnosti během pokládky dle ČSN EN 12273 (provádí se průběžně během pokládky).

2.8. Ekologie mikrokoberců

Ekologická opatření a snižování emisí jsou finančně velmi náročnými procesy. Technologie mikrokoberců nebo obecně technologie kalových vrstev jsou studené technologie, které mají výrazně nižší energetické nároky a emise než např. výroba asfaltového betonu.

U kalových vrstev je z pohledu ekologie nejnebezpečnější částí asfaltová emulze a její emulgátor. Emulgátory jsou látky, které jsou zařazené mezi průmyslové škodliviny. Mohou působit na sliznice nebo kontaminovat půdu [25].

Maximální výpar rozpouštědel je stanoven na 1000 mg/m³. Běžně naměřené hodnoty ve venkovním prostředí jsou zhruba 1/1000 limitních hodnot. Emisemi, které vznikají při pokládce, jsou především chemikálie odpařující se do ovzduší nebo chemikálie odpařující se ze směsi během štěpení při smíchání kalové směsi.

Únik asfaltové emulze do okolního prostředí kontaminuje pouze bezprostřední okolí, protože emulgátory jsou při styku se zemí silně absorbovány.

Z pohledu energetické náročnosti a porovnání horkých a studených technologií lze konstatovat, že studené technologie jsou zhruba pětikrát méně energeticky náročné než horké technologie.

Při tenkovrstvých úpravách mikrokobercem je energetická náročnost zhruba 1,72 kWh/m² při pokládce 20 kg/m², při pokládce BBTM tloušťky 2 cm pak zhruba 6,02 kWh/m² při použití 50 kg/m² [25].

2.9. Nákladová a výnosová stránka technologie

Cílem této bakalářské práce není vyhodnocovat náklady a výnosy, nicméně pro získání obecného přehledu je vhodné uvést jednotlivé náklady a porovnat je s jednotkovými cenami soustavy RTS technologie asfaltového betonu.

Náklady lze rozdělit na materiálové, mzdové a režijní.

Materiálové náklady se skládají z kameniva, emulze, vody a cementu:

- kamenivo – cena se pohybuje kolem 450 Kč/tuna, při kalkulaci dopravy do 200 km od lomu a jednotkové ceny 40 Kč/kilometr jsou náklady na pořízení kameniva včetně dopravy na místo skládky zhruba **1042 Kč/tuna**,
- modifikované emulze – cena je kolem 12 000 Kč/tuna, při kalkulaci dopravy 25 tun do 200 km a jednotkové ceně 45 Kč/kilometr jsou pořizovací náklady na emulzi včetně dopravy na místo stavby zhruba **12 720 Kč/tuna**,
- voda – cena vody se pohybuje kolem 50 Kč/m³, s dopravou 8 m³ do 10 km od místa stavby a jednotkovou cenou 35 Kč/km cena činí 137,5 Kč/m³, nicméně pro výpočet celkových nákladů je možné ji zanedbat,
- cement – cena činí zhruba 60 Kč za 25kg pytel, tj. 2,40 Kč/kg. Z důvodu použití cementu ve směsi řádově v desetinách procent lze cenu zanedbat. Její cenový vliv při použití 0,5 % cementu je 0,044 kg/m², což je 0,10 Kč/m².

Mzdové náklady se skládají z nákladů na přímé dělníky a THP zaměstnance. K zajištění správného fungování pokládkové čety je nutné zaměstnat jednoho řidiče tahače, jednoho strojníka řídicího pokládku, jednoho strojníka pro nakládku kameniva hydraulickou rukou, který v průběhu pokládky ovládá roztahování lišty, dva pomocné pracovníky ovládající kladecí rám a kontrolující kvalitu pokládané směsi a jednoho stavbyvedoucího.

Pro účely zjištění mediánových mezd byla použita statistická čísla z roku 2018, která jsou dostupná na www.eprehledy.cz:

- medián mzdy řidiče nákladních automobilů (CZ-ISCO 83321): 25 008 Kč,
- medián mzdy strojníka (CZ-ISCO 71195): 23 246 Kč,

- medián mzdy pomocného dělníka (CZ-ISCO 93292): 20 198 Kč,
- medián mzdy stavbyvedoucího (CZ-ISCO 13233): 35 842 Kč.

Celkové hrubé mzdy zaměstnanců jsou 147 738 Kč měsíčně, mzdové náklady zaměstnavatele jsou kvůli odvodům o zhruba 30 % vyšší, tj. 192 059 Kč měsíčně, roční mzdové náklady celé posádky včetně mzdy stavbyvedoucího pak činí **2 304 713 Kč**.

Pořizovací ceny mechanismů vycházejí z nabídek jednotlivých výrobců provedených pro účely této práce, ceny jsou uvedeny bez DPH:

- tahač MAN TGS – 2 759 000 Kč,
- mix Schäfer Technic SMS 10000 včetně kladečského rámu – 13 379 000 Kč,
- nákladní automobil s mechanickým zametačem a hydraulickou rukou – 1 800 000 + 381 000 + 861 000, tj. celkem 3 042 000 Kč,
- nákladní automobil s cisternou na vodu – 2 800 000 Kč,
- nákladní automobil s nástavbou pro aplikaci spojovacích postřiků: 1 878 000 + 1 606 000, tj. celkem 3 484 000 Kč.

Celkové pořizovací náklady mechanismů jsou **25 464 000 Kč**. Pro zjednodušení budeme vycházet z doby použití 7 let. Běžná údržba a opravy (zahrnující přezutí pneumatik, výměnu oleje a filtrů a jednoduché opravy) budou činit celkem **1 200 000 Kč** ročně za všechny mechanismy.

Spotřeba pohonných hmot při ročním najetí zhruba 25 000 km bude 35 235 l nafty, při ceně nafty 27,5 Kč/litr pak budou náklady na PHM **968 963 Kč**.

Spotřeba materiálu dle spotřeby na m² a její přepočítání na nákladovou Kč za jednotku je následující:

- aplikace spojovacího postřiku – zbytkové pojivo spojovacího postřiku 0,5 kg/m², dávkování 60 % emulze znamená použití 0,83 kg/m² – nákladová cena spojovacího postřiku je pak **10,60 Kč/m²**,
- EMK 0/5 – minimální množství emulzní kalové směsi po vyštěpení KAE pro EMK 0/5 je dle ČSN 73 6130 stanoveno na 10 kg/m². Dle ČSN musí být obsah zbytkového asfaltu po vyštěpení KAE 6,0–8,5 %. Pro zjednodušení bude použita průměrná hodnota 7,25 %, tj. 0,725 kg/m² KAE po vyštěpení, což při obsahu asfaltu 65 % znamená použití 1,115 kg/m² emulze, v přepočtu 14,187 Kč/m². Vodu a cement z důvodu malého cenového vlivu zanedbáme. Kameniva je pak

použito 8,885 kg/m², což je v přepočtu 9,26 Kč/m², celkové náklady EMK 0/5 jsou **23,447 Kč/m²**,

- EMK 0/8 – minimální množství emulzní kalové směsi po vyštěpení KAE pro EMK 0/8 je dle ČSN 73 6130 stanoveno na 14 kg/m². Dle ČSN musí být obsah zbytkového asfaltu po vyštěpení KAE 5,0–7,5 %. Pro zjednodušení bude použita průměrná hodnota 6,25 %, tj. 0,875 kg/m² KAE po vyštěpení, což při obsahu asfaltu 65 % znamená použití 1,346 kg/m² emulze, v přepočtu 17,123 Kč/m². Kameniva je pak použito 12,654 kg/m², což je v přepočtu 13,185 Kč/m². Celkové náklady EMK 0/8 jsou **30,308 Kč/m²**.
- Celkové náklady dvouvrstvého mikrokoberce frakce 0/5 a 0/8 jsou 10,60 Kč/m² spojovacího postřiku, 23,447 Kč/m² EMK 0/5 a 30,306 Kč/m² EMK 0/8, celkem tedy **64,353 Kč/m²**.
- Pro přepočet mzdových nákladů, pořizovacích nákladů a nákladů na opravy a PHM na jednotku plochy vyjdeme z předpokladu, že ročně bude opravováno zhruba 150 000 m² plochy. Přepočet mzdových nákladů bude **15,36 Kč/m²**, pořizovacích nákladů mechanismů **24,25 Kč/m²**, oprav a udržování **8 Kč/m²** a PHM **6,46 Kč/m²**.
- Režijní náklady byly stanoveny ve výši 4 % z obrátu, tj. 1 200 000 Kč, tj. **8 Kč/m²**. Celkové náklady jsou pak **126,423 Kč/m²**.

RTS ceny dle ceníku stavebních prací Verlag Dashofer II/2020 na jednotku plochy jsou uvedeny v následující tabulce na obrázku č. 19. Ceníková cena jednoho m² opravy povrchu vozovky pomocí technologie EMK je 184,62 Kč/m². Soutěžní ceny jsou na úrovni zhruba 80 %, tj. **147,70 Kč/m²**. Za ideálních podmínek lze tedy dosáhnout zhruba 14% marže.

Č		Objekt	Kód	Zkrácený popis	MJ	Množství	Cena/MJ (Kč)	Dodávka	Montáž	Celkem	Hmotnost (t)	Cenová soustava	
				Rozměry			Náklady (Kč)						
				57		Kryty pozemních komunikací, letišť a ploch z kam		102,67		70,34		173,01	
1		57323111R00		Postřik živitný spojovací z emulze 0,3-0,5 kg/m ²	m ²	1,00	7,50	6,38	1,12	7,50	0,00	0,00 RTS II / 2020	
2		57920211R00		Mikrokoberec EMK 0 - 4 mm	m ²	1,00	70,21	41,65	28,56	70,21	0,01	0,01 RTS II / 2020	
3		579202113R00		Mikrokoberec EMK 0 - 8 mm	m ²	1,00	95,30	54,64	40,66	95,30	0,02	0,02 RTS II / 2020	
				93		Různé dokončovací konstrukce a práce inženýrsk		0,68		9,22		9,90	
4		938908411R00		Očištění povrchu krytu saponátovým roztokem	m ²	1,00	9,90	0,68	9,22	9,90	0,00	0,00 RTS II / 2020	
				H22		Komunikace pozemní a letišť		0,00		1,71		1,71	
5		99822511R00		Přesun hmot, pozemní komunikace, kryt živitný	t	0,03	59,80	0,00	1,71	1,71	0,00	0,00 RTS II / 2020	
							Celkem:		184,62				

obrázek č. 19 – ceníková cena opravy povrchu vozovky technologií EMK

Pro cenové porovnání je v následující tabulce uvedena ceníková cena opravy povrchu vozovky technologií asfaltového betonu. Tato oprava je zhruba dvakrát dražší než oprava povrchu vozovky technologií EMK.

V žádném případě nelze tvrdit, že oprava povrchu vozovky technologií EMK je vhodnější, protože je levnější. Jedná se o dvě různé technologie, které musí správce komunikace vhodně kombinovat.

Dle TP je nutné kryt vozovky vyměnit každých 7 let. Namísto výměny za cenu 410 Kč/m² lze však životnost krytu prodloužit pomocí technologie EMK o dalších 6–9 let, a to za cenu 184 Kč/m² (a kryt tak vyměnit až na konci životnosti EMK).

VERLAG DASHÖFER		Stavební rozpočet										
Název stavby:		Oprava komunikace asfaltovým betonem			Doba výstavby:			Objednatel:				
Druh stavby:					Začátek výstavby:			Projektant:				
Lokalita:					Konec výstavby:			Zhotovitel:				
JKSO:					Zpracováno dne:			Zpracoval:				
Č	Objekt	Kód	Zkrácený popis	MJ	Množství	Cena/MJ (Kč)	Náklady (Kč)			Hmotnost (t)		Cenová soustava
							Dodávka	Montáž	Celkem	Jednot.	Celkem	
			11				0,00	79,71	79,71		0,09	
			Přípravné a přidružené práce				0,00	79,71	79,71	0,09	0,09	RTS II / 2020
1		113151213R00	Fréz. živč. krytu nad 500 m ² , bez překážek, tl. 4 cm	m ²	1,00	79,71	0,00	79,71	79,71	0,09	0,09	RTS II / 2020
2		577132111R00	Krytí pozemních komunikací, letišť a ploch z kamenih	m ²	1,00	233,49	221,01	22,58	243,59	0,10	0,10	RTS II / 2020
3		573231111R00	Beton asfalt. ACO 11+ obušný, š.nad 3 m, tl. 4 cm	m ²	1,00	10,10	8,98	1,12	10,10	0,00	0,00	RTS II / 2020
4		938908411R00	Postlák živčiny spojovací z emulze 0,5-0,7 kg/m ²	m ²	1,00	9,90	0,68	9,22	9,90	0,00	0,00	RTS II / 2020
			Různé dokončovací konstrukce a práce inženýrských				0,00	6,24	6,24	0,00	0,00	
5		H22	Očištění povrchu krytu saponátovým roztokem	m ²	1,00	9,90	0,68	9,22	9,90	0,00	0,00	RTS II / 2020
			Komunikace pozemní a letišť				0,00	6,24	6,24	0,00	0,00	
6		998225111R00	Přesun hmot. pozemní komunikace, kryt živčiny	t	0,10	59,80	0,00	6,24	6,24	0,00	0,00	RTS II / 2020
			Přesuny sutí				0,29	69,02	69,32	0,00	0,00	
7		979087212R00	Nakládání sutí na dopravní prostředky - komunikace	t	0,09	129,99	0,00	11,44	11,44	0,00	0,00	RTS II / 2020
8		979083117R00	Vodorovné přemístění sutí na skládku do 6000 m	t	0,09	331,50	0,29	28,88	29,17	0,00	0,00	RTS II / 2020
9		979083191R00	Příplatek za dalších započatých 1000 m nad 6000 m	t	0,09	26,20	0,00	2,31	2,31	0,00	0,00	RTS II / 2020
10		979990112R00	Poplatek za skládku sutí-obal kam.-asfalt do 30x30	t	0,09	300,00	0,00	26,40	26,40	0,00	0,00	RTS II / 2020
			Celkem:						468,76			

obrázek č. 20 – ceníková cena opravy povrchu vozovky technologií asfaltového betonu

2.10. Výhody a nevýhody technologie emulzních mikroberců

I přes značné možnosti použití mikroberců a jejich výhodné vlastnosti při údržbě silnic nelze tuto technologii považovat za zcela dokonalou. Nemůžeme v žádném případě konstatovat, že se jedná o levný způsob odstranění poruch na vozovkách v důsledku nekvalitního krytu. Dobré výsledky nelze očekávat ani tam, kde po pokládce není povrchu věnována dostatečná péče.

Nejlépe lze technologii zhodnotit tak, že se nejedná o novou obrusnou vrstvu, nýbrž pouze o konzervační metodu povrchu krytu, a to za účelem zastavení pokračující destrukce povrchu vozovky.

Mezi základní výhody patří:

- tenkovrstvá úprava do 20 mm nevyžadující stavební povolení nebo ohlášení stavby,
- nízká energetická náročnost (zhruba ¼ v porovnání s BBTM – viz kapitola 2.8),

- odpadá frézování a s tím spojená zkouška na PAU, skládkování nebo likvidace odpadu,
- rychlost provedení opravy,
- krátké úseky, které je možné otevírat po jedné hodině,
- dopravní opatření bez kompletních uzavírek,
- prodloužení životnosti obrusné vrstvy o 6–9 let za poloviční cenu v porovnání s výměnou obrusné vrstvy při využití asfaltového betonu (viz kapitola 2.9).

Hlavními nevýhodami technologie jsou:

- klimatické omezení pokládky – teploty nad 15 °C (cca od poloviny května do poloviny září),
- náchylnost na čistotu povrchu,
- EMK nezvyšuje únosnost komunikace,
- EMK je nutno zajíždět, což v prvotních týdnech po pokládce může vyvolat dotazy nebo stížnosti ze strany uživatelů komunikací – zdánlivě vyšší hlučnost, dokud se provozem neusměrní zrna,
- nelze ji použít na lokální opravy.

2.11. Použití mikrokoberců v zahraničí

USA

V USA se technologie mikrokoberců velmi rozvinula. V rámci prodlužování životnosti obrusných vrstev se využívá jak jednoduchého (single course), tak i dvojitého mikrokoberce (double course).

U nás nový typ úpravy EMKR je v USA běžně používán pod názvem Cape Seals [26].

Je evidentní, že studené technologie jsou v USA velmi populární, a to jak nátěrové technologie, tak i kalové směsi – SLURRY SEAL a EMK.

Pro kalové směsi se v USA používají tři druhy vrstev – 1/8" (zhruba 3,175 mm), 1/4" (6,35 mm) a 3/8" (9,525 mm) [26].



obrázek č. 21 – porovnání – vlevo metoda MILL and FILL, vpravo úprava EMK, foceno po 4 letech provozu [26]

Technologie mikrokoberců je v USA běžně užívána i pro vysprávku vyjetých kolejí, což je velký rozdíl oproti standardům v ČR, kde norma ČSN 736130 jasně definuje, že EMK lze aplikovat pouze tam, kde podélné nerovnosti na čtyřmetrové lati a příčné nerovnosti na dvoumetrové lati dle ČSN 73 6175 nejsou pro TDZ I.–III. větší než 10 mm a pro TDZ IV.–V. větší než 15 mm, přičemž nerovnosti je možné před pokládkou EMK brousit nebo frézovat.

V USA je metoda EMK využívána i pro údržbu spojů v šířce zhruba 60 cm, jak je patrné z níže uvedeného obrázku.



obrázek č. 22 – ošetření spojů metodou EMK v šířce 2 stop [26]

Rakousko a Německo

V Německu a Rakousku se již více než 15 let úspěšně používá kombinace technologie jednovrstvého nátěru a mikrokoberce (obdoba EMKR v ČR), konkrétně pod označením DUO-BELAG [27]. Technologie se využívá hlavně pro opravu poruch sít'ových trhlin. Účelem jednovrstvého nátěru je vytvoření těsnicí membrány, která je uzavřena mikrokobercem.

V jednovrstvém nátěru je použito modifikované pojivo. Nátěr je vytvořen z hrubého kameniva frakce 4/8 nebo 8/11 (obrázek č. 23). Někdy se používá i jednovrstvý nátěr s dvojitým podrcením – viz obrázek č. 24 [27].

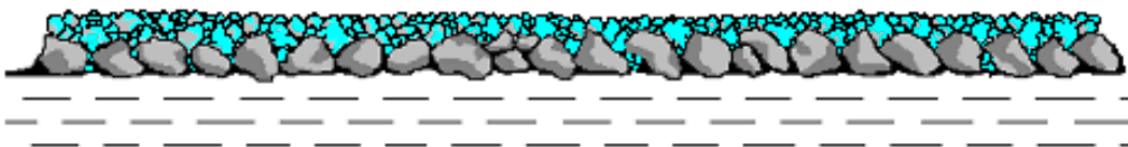


obrázek č. 23 – jednovrstvý nátěr [27]



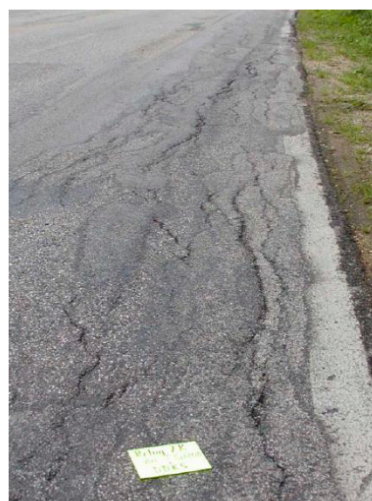
obrázek č. 24 – jednovrstvý nátěr s dvojitým podrcením [27]

Vrstva jednovrstvého nátěru je překryta vrstvou jednovrstvého emulzního mikrokoberce frakce 0/5 (obrázek č. 25), tím je povrch zcela uzavřen. Souvrství je označováno jako DUO-BELAG [27].



obrázek č. 25 – DUO-BELAG – JN 4/8 + EMK 0/5 [27]

Ukázka poruch před opravou u obce Mühlviertel (Horní Rakousy) v roce 2006. Před opravou v roce 2006 byla na úseku provedena diagnostika. Na podzim pak byla uskutečněna oprava technologií DUO-BELAG.



obrázek č. 26 – síťové trhliny před opravou technologií DUO-BELAG [27]

V roce 2008 byly v místech, kde se nacházely původní síťové trhliny, provedeny vývrtů. Z vývrtů je patrné, že trhliny se neprokopírovaly do povrchu vozovky.

Diagnostika po dvou letech provozu ukázala, že zhruba 90 % trhlin bylo eliminováno. Jednalo se o velmi úspěšný pokus, díky kterému byla tato technologie rozšířena po celém Rakousku a později i Německu. Do ČR se technologie pod názvem emulzní mikrokryt (EMKR) dostala v roce 2018, tedy zhruba o 10 let později.



obrázek č. 27 – vývrty z opravovaného úseku u obce Mühlviertel [27]

2.12. Moderní trendy v technologii emulzních mikrokoberců

EMKR

V rámci poslední aktualizace normy ČSN 736130 Stavba vozovek – Kalové vrstvy v prosinci 2018 byl povolen nový druh povrchové opravy, a to emulzní mikrokryt (EMKR).

Jedná se o souvrství jednovrstvého nátěru (provedeného dle ČSN 736129) a jednovrstvého mikrokoberce. Předpokládaná životnost je 7–10 let. EMKR je vhodný pro opravu a údržbu vozovek:

- k ochraně proti pronikání vody do konstrukčních vrstev,
- k prodloužení životnosti vozovky,
- k omezení vzniku a šíření jednotlivých nebo mozaikových trhlin,
- ke zlepšení protismykových vlastností.

EMK vyztužené mříží ze skelných vláken

Ve spolupráci se SFDI a SÚS JčK byl v ČR v roce 2016 realizován pilotní projekt, v rámci něhož se pro opravy poruch krajské vozovky využily skelné mříže v kombinaci

s emulzním mikrokobercem. Jednalo se o testovací úsek na silnici II/170 mezi Nihošovicemi a Neměticemi v Jihočeském kraji. Vozovka vykazovala poruchy typu olámané kraje, mozaikové trhliny, mrazové trhliny, ztráta asfaltového tmelu, lokální poruchy. Na očištěný povrch byla nalepena skelná mříž od společnosti Saint Gobain, aplikován spojovací postřík a dvouvrstvý mikrokoberec. Šlo o testovací úsek v délce zhruba 300 m. Po čtyřech letech provozu nevykazuje povrch úseku žádné opětovné poruchy, které vykazoval před opravou.

EMK s R-materiálem

V silničním stavitelství je trendem posledních let kompletní využití zpětně získaných materiálů a minimalizace odpadů a skládkování. Tyto změny jsou patrné i v ČR, je zde obecná snaha zpětně získaný materiál co nejvíce využít (např. při výrobě asfaltového betonu nebo jako konstrukční vrstva do podkladních vrstev).

Ani technologie mikrokoberců nezůstává pozadu s moderními trendy. V posledních dvou letech byly provedeny testovací pokládky v severní Itálii, kde byla místo kameniva použita směs asfaltového recyklátu. Při testech byl využit přetřízený asfaltový recyklát frakce 0/5 a upravena receptura kalové směsi při pokládce. Asfaltový recyklát byl použit ve spodní vrstvě při pokládce dvouvrstvého mikrokoberce. Horní vrstva mikrokoberce byla již z drceného drobného kameniva frakce 0/8. Testovací úsek je pravidelně vyhodnocován. Výsledky budou zpracovány v průběhu roku 2021, nicméně již dnes lze konstatovat, že jde o cestu rozvoje EMK.

3. Stanovení cílů experimentální části

Další kapitoly bakalářské práce se zabývají již praktickým měřením. V rámci experimentální části bakalářské práce byly stanoveny následující cíle.

- cíl č. 1 – stanovení sad teplotních kombinací kameniva a emulze pro další testování,
- cíl č. 2 – stanovení optimální receptury směsi mikrokoberce,
- cíl č. 3 – prozkoumat vliv teploty kameniva a emulze na rychlosti štěpení směsi a ověření předpokladu zrychlující reakce štěpení při vzrůstající teplotě komponentů.

Cíle byly stanoveny tak, aby byly nejprve vybrány vhodné teploty jednotlivých komponentů a to takové, které se vyskytují v průběhu stavební sezóny. Potom, aby byla stanovena optimální receptura za standardních podmínek, která bude v dalším kroku podrobena teplotním vlivům při teplotách stanovených v prvním cíli.

4. Metody a metodika měření

4.1. Postup měření cíle č. 1 – stanovení sad teplotních kombinací kameniva a emulze pro další testování

Praktické měření teploty vzduchu, kameniva, emulze a vody přímo na stavbě. Provést alespoň pět měření (každý den jedno, ve stejnou dobu). Teplotu vzduchu měřit venkovním teploměrem ve stínu. Teplotu kameniva měřit 10 cm pod povrchem – odhrnout horní vrstvu cca 10 cm a provést měření. Teplotu emulze a vody měřit v cisterně na hladině. Měření teploty kameniva, emulze a vody provést laserovým teploměrem.

4.2. Postup měření cíle č. 2 – stanovit optimální receptury směsi mikrokoberce

Stanovení optimální receptury směsi mikrokoberce provést v laboratoři, za použití následujícího laboratorního vybavení:

- horkovzdušná trouba s regulací teplot – rozsah teploty 20–200 °C, v krocích po 5 °C,
- laboratorní teploměr s přesností 1 °C,
- laboratorní váha s přesností 0,00001 kg,
- laboratorní stopky s přesností 0,1 s,
- ocelová miska pro ohřev kameniva v troubě,
- plastová miska pro míchání kalové směsi,
- keramická lžice pro míchání směsi a dávkování komponentů,
- odměrné skleněné válce na vodu a emulzi.

Nejprve zjistit vlhkost kameniva za účelem zvolení optimálního množství vody.

Postup stanovení vlhkosti kameniva je následující:

- čistou a suchou ocelovou misku umístit na váhu a vynulovat,
- do misky nasypat kamenivo a zaznamenat jeho hmotnost,
- do trouby vyhřáté na 110 °C umístit misku s kamenivem,
- v pravidelných intervalech po 30 minutách kamenivo promíchat a zvážit,

- jakmile je hmotnost vysušeného kameniva ustálená (tj. rozdíl v hmotnostech po hodině sušení je méně než 0,1 %), zvážit vysušené kamenivo,
- vypočítat vlhkost vzorce č. 1.

Vzorec pro výpočet vlhkosti kameniva:

$$w = \frac{(M_1 - M_3)}{M_3} \times 100$$

- M_1 je hmotnost vlhkého kameniva,
- M_3 je hmotnost vysušeného kameniva.

Přípravit si kamenivo a emulzi o teplotě 20 °C. Množství přidávané emulze je stanoveno na 10 %. Množství vody a cementu bude měněno dle rychlosti štěpné reakce. Cílem je dosažení rychlosti štěpení alespoň 90 s. Z důvodu zjištění opakovatelnosti bude každé měření opakováno třikrát.

Voda zpomaluje rychlost reakce a její nadbytečné množství je problémové pro konsolidaci kalové vrstvy. Cement naopak zrychluje rychlost reakce. Cílem je co nejnižší obsah vody a cementu.

Postup míchání kalové směsi:

- označit plastovou misku číslem měření, položit na laboratorní váhu a vynulovat váhu,
- do misky nasypat 300 g kameniva,
- ke kamenivu přidat zvolené množství cementu,
- směs promíchat a položit zpět na váhu,
- do směsi nalít zvolené množství vody, směs důkladně promíchat a přesunout ke kraji misky, aby vznikl prostor pro nalití emulze – nesmí dojít ke kontaktu kameniva a emulze před začátkem míchání směsi, jinak by začala štěpná reakce,
- do misky nalít emulzi tak, aby nedošlo ke kontaktu se směsí kameniva,
- zapnout měření času na laboratorních stopkách a pomocí lžice začít míchat kalovou směs,
- sledovat parametry určující proces štěpení – změna barvy, bublinky na povrchu, houstnutí směsi, při vyštěpení směsi zastavit měření času, směs přesunout ke kraji

misky a misku naklonit – ze směsi musí vytéct čistá voda, to je důkazem přenosu asfaltu z emulze na kamenivo,

- do záznamového archu zapsat teplotu emulze a kameniva ve °C, množství vody a cementu v procentech a rychlost štěpení v sekundách.

4.3. Postup měření cíle č. 3 – prozkoumat vliv teploty kameniva a emulze na rychlosti štěpení směsi a ověření předpokladu zrychlující reakce štěpení při vzrůstající teplotě komponentů

Na základě výsledků cíle č. 1 – stanovit matice kombinací teploty kameniva a emulze. Příprava komponentů:

- kamenivo v ocelové misce zahřát v horkovzdušné troubě nastavené na danou teplotu, kamenivo důkladně promíchat a ve třech místech ověřit jeho teplotu laboratorním teploměrem, teplota musí být ustálená,
- pitnou vodu z vodovodního řádu nalít do odměrných skleněných válců a nechat odstát 24 h na pokojovou teplotu,
- emulzi ve skleněných odměrných válcích zahřát v horkovzdušné troubě nastavené na danou teplotu, před měřením emulzi jemně promíchat a změřit teplotu laboratorním teploměrem, teplota musí být ustálená,
- cement nasypat do plastové misky a nechat při pokojové teplotě 24 h před měřením.

Postup měření rychlosti štěpení je stejný jako u cíle č. 1, rozdíl je v přípravě surovin – kamenivo a emulze pro dané měření předpřipravit dle postupu 3.2.3. Výsledky měření zaznamenat do připraveného záznamového archu.

4.4. Zvolené komponenty pro provedení experimentu

- **Místo provedení** – praktické měření: skládka stavby I/22, Klatovy; laboratorní měření: laboratoř Vialit Soběslav, spol. s r. o.
- **Emulze** – C 65 BP 5 – kationaktivní emulze ze silničního asfaltu s obsahem asfaltu 65 %, modifikovaná latexem a třídou štěpitelnosti 5. Obchodní označení emulze je Vialit MB 65 S – emulze, která se standardně používá pro pokládku mikrokoberců.

- **Množství redicotu (látka zpomalující proces štěpení)** – 1,10–1,12 % jsou mezní hodnoty redicotu přidávaného do emulze, 1,10 % se používá pro jarní a podzimní směs, 1,12 % se používá jako letní směs.
- **Kamenivo** – frakce 0/8, dodavatel Bernegger GmbH, lom Loja, Rakousko.
- **Voda** – pitná kohoutková voda laboratorní teploty – cca 20 °C.
- **Cement** – CEM II / A-LL – portlandský cement s vápencem, s obsahem slinku 80–94.

Všechny výše uvedené komponenty se běžně používají při pokládce mikrokoberce.

5. Průběh měření, zhodnocení a diskuse nad výsledky

5.1. Stanovení sad teplotních kombinací kameniva a emulze pro další testování (cíl č. 1)

V tabulce č. 4 jsou zaznamenány teploty kameniva, emulze a vody naměřené laserovým teploměrem v průběhu srpna 2020 na skládce stavby I/22, Klatovy, vždy v 09.00 hodin.

datum měření	teplota vzduchu	teplota kameniva	teplota emulze	teplota vody
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
11. 08. 2020	18,1	25,1	25,2	23,2
12. 08. 2020	20,3	30,2	28,4	28,3
13. 08. 2020	27,6	28,4	33,6	31,8
17. 08. 2020	25,4	30,5	25,6	30,7
19. 08. 2020	20,2	21,4	24,3	30,1
20. 08. 2020	22,6	25,7	29,1	27,5

tabulka č. 4 – měření teploty vzduchu, kameniva, emulze a vody na skládce na stavbě I/22, Klatovy, v srpnu 2020

Na základě výsledku tohoto měření byl pro cíl č. 2 – stanovení optimální receptury směsi mikrokoberce – zvolen stejný rozsah teplot, tzn. ověřování rychlosti štepitelnosti v laboratoři provést při teplotách emulze 20 °C, 25 °C, 30 °C a 35 °C, vždy v kombinaci s teplotou kameniva 20 °C, 25 °C, 30 °C a 35 °C.

5.2. Stanovení vhodné receptury směsi mikrokoberce (cíl č. 2)

Vlhkost kameniva

Měření vlhkosti kameniva dle odstavce 3.2.2.

- hmotnost vlhkého kameniva $M_1 = 486,7$ g,
- hmotnost vysušeného kameniva $M_3 = 477,33$ g.

Výpočet dle vzorce č. 1.

$$w = \frac{(486,7 - 477,33)}{477,33} \times 100 = 1,96 \%$$

Z výsledku je patrné, že se jedná o velmi suché kamenivo. Běžná vlhkost kameniva se pohybuje kolem 4–5 %. V případě deštivého počasí přesahuje vlhkost kameniva 10 %.

Zkouška vhodné receptury

Bylo provedeno 9 měření ve třech sériích, vždy tři měření se stejnými parametry. Výsledky zjištěné v průběhu měření jsou zobrazeny v tabulce č. 5.

Pro první sérii měření jsme zvolili obsah vody 3 % a cementu 0,5 %. Výsledná rychlost štěpení byla 62–65 s, což je považováno za velmi rychlou reakci – norma požaduje min. 90 s. Za takto krátkou dobu by kalová směs nestihla být rozprostřena na povrch vozovky a začala by se štěpit již v kladečím rámu. Pokládka by musela být okamžitě zastavena.

Pro druhou sérii měření jsme se rozhodli zvýšit obsah vody na 4 %, množství cementu zůstalo stejné. Rychlost štěpení vzrostla na 72–75 s, což stále nedosahuje požadavku normy.

Pro třetí sérii jsme vybrali obsah vody 6 %, zatímco obsah cementu jsme snížili na 0,25 %. Výsledná rychlost štěpení byla 117–120 s. Tento výsledek splňuje požadavek normy a požadavek na co nejnižší obsah vody a cementu.

číslo série	číslo měření	teplota emulze	teplota kameniva	H ₂ O	cement	rychlost štěpení
		[°C]	[°C]	[%]	[%]	[s]
1	1	20	20	3	0,50	60
	2	20	20	3	0,50	63
	3	20	20	3	0,50	65
2	4	20	20	4	0,50	75
	5	20	20	4	0,50	72
	6	20	20	4	0,50	73
3	7	20	20	6	0,25	120
	8	20	20	6	0,25	118
	9	20	20	6	0,25	117

tabulka č. 5 – výsledky měření při stanovení vhodné receptury

V tabulce č. 6 jsou změřená data ještě statisticky vyhodnocena. K průměrné hodnotě každé série je dopočítán rozptyl a směrodatná odchylka.

Průměrná hodnota (aritmetický průměr hodnot) rychlosti štěpení každé série byla spočtena dle vzorce:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

Rozptyl (variance) udává, jak moc jsou hodnoty ve statistickém souboru rozptýleny. Rozptyl se spočítá dle vzorce:

$$Var(X) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

Směrodatná odchylka podobně jako rozptyl udává vzdálenost od průměru hodnot. Směrodatná odchylka je spočte jako:

$$\sigma = \sqrt{Var(X)} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Z naměřených hodnot je patrné, že série č. 2 a 3 má zhruba poloviční směrodatnou odchylku oproti sérii č. 1. Vzhledem k tomu, že výsledek z měření ze série č. 1 nevstupuje do dalších měření a postupů, lze tento fakt zanedbat. V případě, že by však vstupoval do dalších měření, bylo by vhodné provést další měření a případně některý z naměřených výsledků vyloučit.

číslo série	číslo měření	rychlost štěpení	průměrná hodnota	rozptyl	směrodatná odchylka
		[s]			
1	1	60	62,67	4,22	2,06
	2	63			
	3	65			
2	4	75	73,33	1,56	1,25
	5	72			
	6	73			
3	7	120	118,33	1,56	1,25
	8	118			
	9	117			

tabulka č. 6 – statistické vyhodnocení výsledků zkoušení vhodné receptury

5.3. Prozkoumat vliv teploty kameniva a emulze na rychlosti štěpení a ověření předpokladu zrychlující reakce štěpení při vzrůstající teplotě komponentů (cíl č. 3)

Pro měření byla zvolena receptura dle výsledku předchozího bodu 5.2.2. Bylo provedeno 16 sérií měření, vždy tři měření se stejnými parametry. Výsledky jsou zpracovány v tabulce č. 7.

Průběh měření je zobrazen na následujících obrázcích.



obrázek č. 28 – vybavení laboratoře – horkovzdušná trouba



obrázek č. 29 – vybavení laboratoře – laboratorní váha, laboratorní stopky, skleněné odměrné válce s emulzí a vodou, plastový kelímek s cementem, keramická lžička na dávkování a laboratorní teploměr



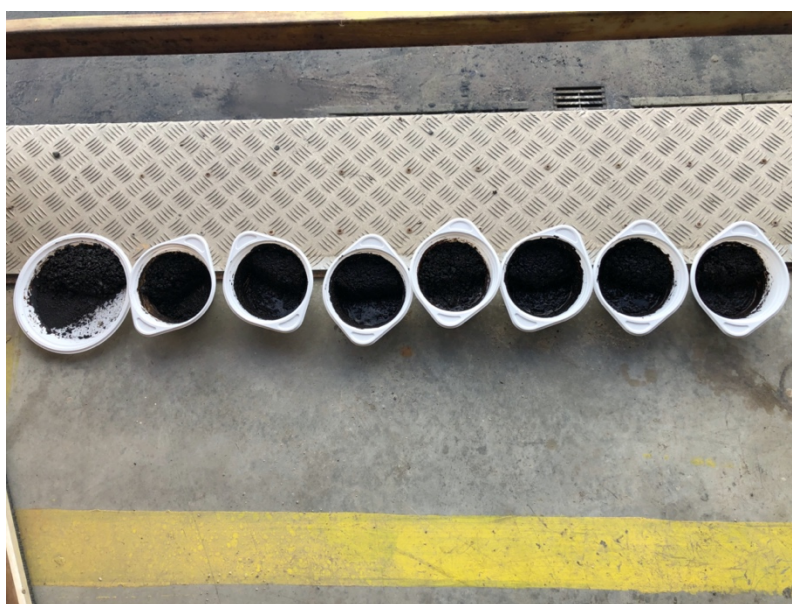
obrázek č. 30 – směs kameniva, cementu a vody připravená pro nalití emulze



obrázek č. 31 – kalová směs v průběhu míchání



obrázek č. 32 – kalová směs při konsolidaci, čistá voda je důkazem přenosu asfaltu na kamenivo



obrázek č. 33 – přehled vzorků

Při měření série č. 4 bylo nedopatřením použito o 1 % více vody než při měření v sérii č. 3. (tab. č. 3, kap. 4.2.2). Výsledný čas štěpení při obsahu vody 6 % a cementu 0,25 % byl v rozmezí 117–120 s (série č. 3), při obsahu vody 7 % a cementu 0,25 % se čas prodloužil na 152–155 s (série č. 4). Z výsledků měření vyplývá, že při obsahu cementu 0,25 % zpomalí rychlost štěpení o 30 s zvýšením obsahu vody o 1 %. V případě receptury s obsahem cementu 0,5 % byl vliv vyššího obsahu vody na rychlost štěpení pouze 10 s (porovnání měření série č. 1 a 2).

Shrnutí výsledků:

- Při teplotě emulze 20 °C lze pro namíchání směsi s požadovanou rychlostí reakce štěpení použít pouze kamenivo do teploty 25 °C. V tomto případě rychlost reakce splňuje požadavek normy. Smíchání s kamenivem o vyšších teplotách požadavek nesplňuje.
- Při teplotě emulze 25 °C lze pro namíchání směsi s požadovanou rychlostí reakce štěpení použít pouze kamenivo do 20 °C, v kombinaci s kamenivem o vyšší teplotě jsou reakce rychlejší než 90 s, což požadavek normy nesplňuje.
- Při teplotě emulze 30 °C lze pro namíchání směsi s požadovanou rychlostí reakce štěpení použít pouze kamenivo o teplotě do 20 °C, ostatní kombinace normu nesplňují.

- Při teplotě emulze 35 °C nelze kalovou směs míchat vůbec.

číslo série	číslo měření	teplota emulze	teplota kameniva	H ₂ O	cement	rychlost štěpení
		[°C]	[°C]	[%]	[%]	[s]
4	10.	20	20	7	0,25	152
	11.	20	20	7	0,25	155
	12.	20	20	7	0,25	154
5	13.	20	25	6	0,25	105
	14.	20	25	6	0,25	106
	15.	20	25	6	0,25	108
6	16.	20	30	6	0,25	70
	17.	20	30	6	0,25	71
	18.	20	30	6	0,25	72
7	19.	20	35	6	0,25	50
	20.	20	35	6	0,25	52
	21.	20	35	6	0,25	53
8	22.	25	20	6	0,25	115
	23.	25	20	6	0,25	116
	24.	25	20	6	0,25	115
9	25.	25	25	6	0,25	74
	26.	25	25	6	0,25	74
	27.	25	25	6	0,25	75
10	28.	25	30	6	0,25	44
	29.	25	30	6	0,25	45
	30.	25	30	6	0,25	44
11	31.	25	35	6	0,25	36
	32.	25	35	6	0,25	35
	33.	25	35	6	0,25	34
12	34.	30	20	6	0,25	91
	35.	30	20	6	0,25	92
	36.	30	20	6	0,25	89
13	37.	30	25	6	0,25	45
	38.	30	25	6	0,25	45
	39.	30	25	6	0,25	43
14	40.	30	30	6	0,25	32
	41.	30	30	6	0,25	33
	42.	30	30	6	0,25	31
15	43.	30	35	6	0,25	25
	44.	30	35	6	0,25	24
	45.	30	35	6	0,25	25

16	46.	35	20	6	0,25	41
	47.	35	20	6	0,25	41
	48.	35	20	6	0,25	40
17	49.	35	25	6	0,25	36
	50.	35	25	6	0,25	35
	51.	35	25	6	0,25	36
18	52.	35	30	6	0,25	22
	53.	35	30	6	0,25	22
	54.	35	30	6	0,25	23
19	55.	35	35	6	0,25	20
	56.	35	35	6	0,25	20
	57.	35	35	6	0,25	20

tabulka č. 7 – výsledky měření

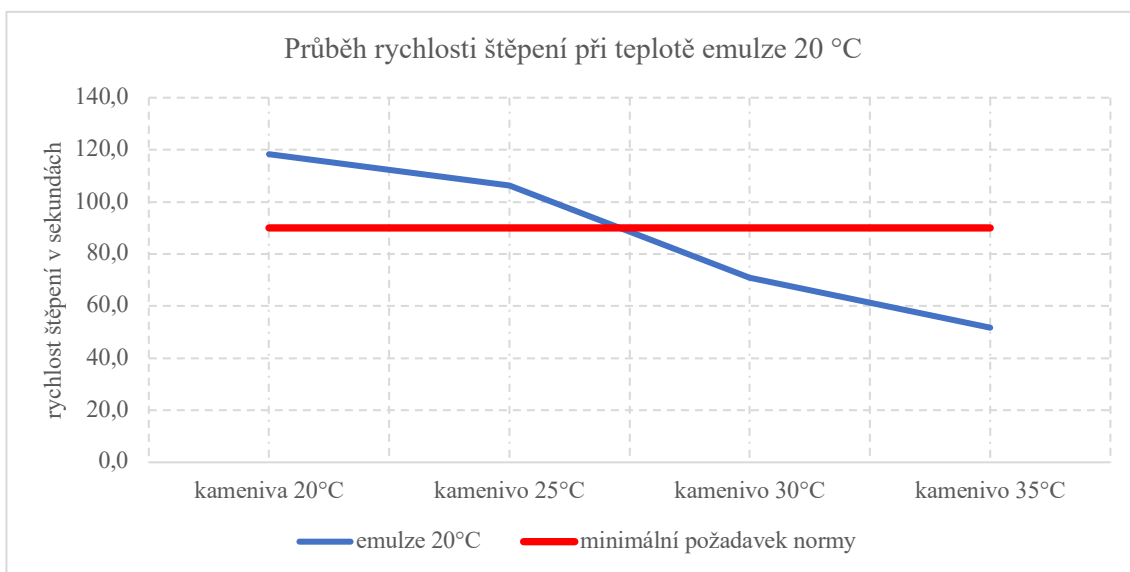
5.3.1. Kombinace teplot kameniva a emulze o teplotě 20 °C

Průběh měření štěpné reakce při teplotě emulze 20 °C odpovídal předpokladům. Rychlost štěpení rostla se vzrůstající teplotou kameniva. Největší rozdíl v rychlosti reakce nastal při teplotě kameniva 25 a 30 °C, a to konkrétně o 35 s.

V tabulce č. 8. je zpracován přehled zmiňovaných kombinací teplot a časů štěpení, grafická závislost je na obrázku č. 34. Požadavku normy na rychlost štěpení nad 90 s vyhověly kombinace emulze o teplotě 20 °C a kameniva o teplotě 25 °C. V případě teploty kameniva 30 °C a 35 °C musí posádka kladeče provést změnu receptury, např. přidáním vody nebo snížením obsahu cementu, rychlost reakce je vždy nutné ověřit vzorkováním.

teplota emulze [°C]	20	20	20	20
teplota kameniva [°C]	20	25	30	35
průměr rychlosti štěpení [s]	118,33	106,33	71,00	51,67
změna rychlosti [s]		-12,00	-35,33	-19,33

tabulka č. 8 – přehled teplot kameniva a rychlosti reakce s emulzí o teplotě 20 °C



obrázek č 34 – průběh rychlosti štěpení při teplotě emulze 20 °C

Statistické vyhodnocení naměřených hodnot je uvedeno v tabulce č. 9, rozptyl u každé série se pohybuje kolem 1 s, což lze považovat za způsobilý výsledek a spolehlivé měření.

číslo série	číslo měření	rychlost štěpení [s]	průměrná hodnota	rozptyl	směrodatná odchylka
3	7	120	118,33	1,56	1,25
	8	118			
	9	117			
5	13	105	106,33	1,56	1,25
	14	106			
	15	108			
6	16	70	71,00	0,67	0,82
	17	71			
	18	72			
7	19	50	51,67	1,55	1,25
	20	52			
	21	53			

tabulka č. 9 – statistické vyhodnocení rychlosti štěpení kombinace teplot kameniva a emulze 20 °C

5.3.2. Kombinace teplot kameniva a emulze o teplotě 25 °C

Naměření hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 10, grafické zobrazení na obrázku č. 35 a statistické vyhodnocení v tabulce č. 11.

Porovnání rychlostí reakce při obrácené kombinaci teplot:

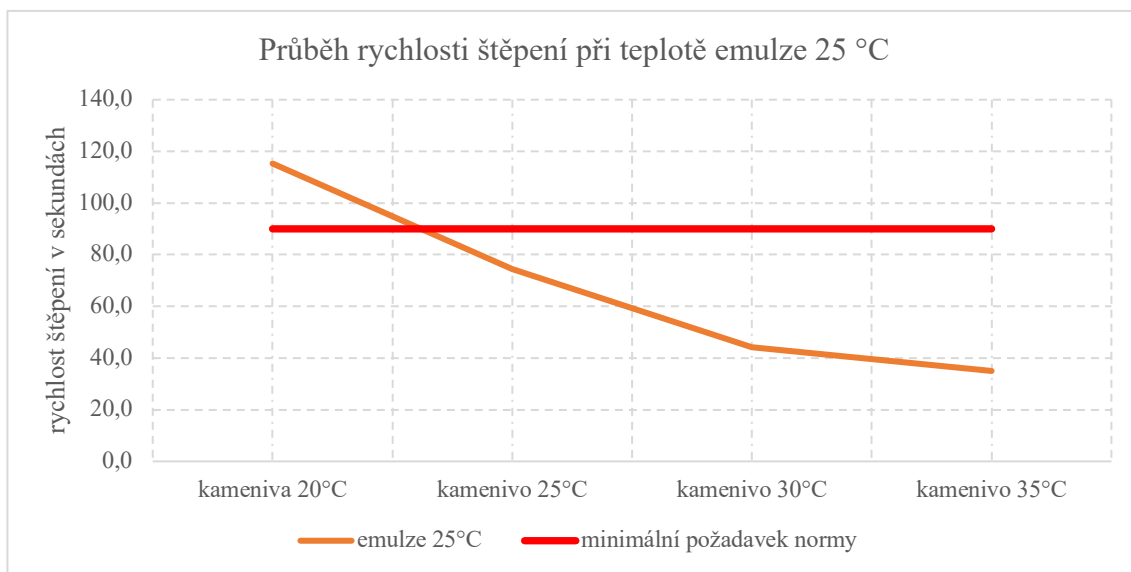
- emulze 20 °C, kamenivo 25 °C, rychlost reakce 105–108 s,
- emulze 25 °C, kamenivo 20 °C, rychlost reakce 115–116 s.

Ve smíchané směsi je poměr kameniva a emulze 1 : 9, teplota kameniva má tedy na rychlost štěpení větší vliv než teplota emulze. Rozdíl v rychlosti reakce je cca 10 s. Chlazení kameniva na skládce je tedy důležitým faktorem. S rostoucí teplotou kameniva se snižoval rozdíl ve změně rychlosti štěpení.

Závěrem lze konstatovat, že při teplotě emulze 25 °C nesplňovala požadavky normy kombinace s kamenivem od 25 °C včetně. V praxi by při teplotách emulze a kameniva 25 °C bylo nutné upravit recepturu přidáním vody nebo snížením cementu. Při teplotách komponentů nad 25 °C by dle výsledků měření nešlo splnit požadavky normy ani přidáním vody nebo snížením cementu, čímž by pokládku nebylo možné realizovat. V takovém případě by bylo nutné objednat emulzi s vyšším obsahem redicotu.

teplota emulze [°C]	25	25	25	25
teplota kameniva [°C]	20	25	30	35
průměr rychlosti štěpení [s]	115,33	74,33	44,33	35,00
změna rychlosti [s]		-41,00	-30,00	-9,33

tabulka č. 10 – přehled teplot kameniva a rychlosti reakce s emulzí o teplotě 25 °C



obrázek č. 35 – průběh rychlosti štěpení při teplotě emulze 25 °C

Na základě výsledku hodnot směrodatné odchylky lze považovat měření za spolehlivé.

číslo série	číslo měření	rychlost štěpení	průměrná hodnota	rozptyl	směrodatná odchylka
		[s]			
8	22	115	115,33	0,22	0,47
	23	116			
	24	115			
9	25	74	74,33	0,22	0,47
	26	74			
	27	75			
10	28	44	44,33	0,22	0,47
	29	45			
	30	44			
11	31	36	35,00	0,67	0,82
	32	35			
	33	34			

tabulka č. 11 – statistické vyhodnocení rychlosti štěpení kombinace teplot kameniva a emulze 25 °C

5.3.3. Kombinace teplot kameniva a emulze o teplotě 30 °C

Míchat směs s emulzí o teplotě 30 °C je možné pouze s kamenivem o teplotě 20 °C, a to díky výše zmiňované objemové hmotnosti kameniva.

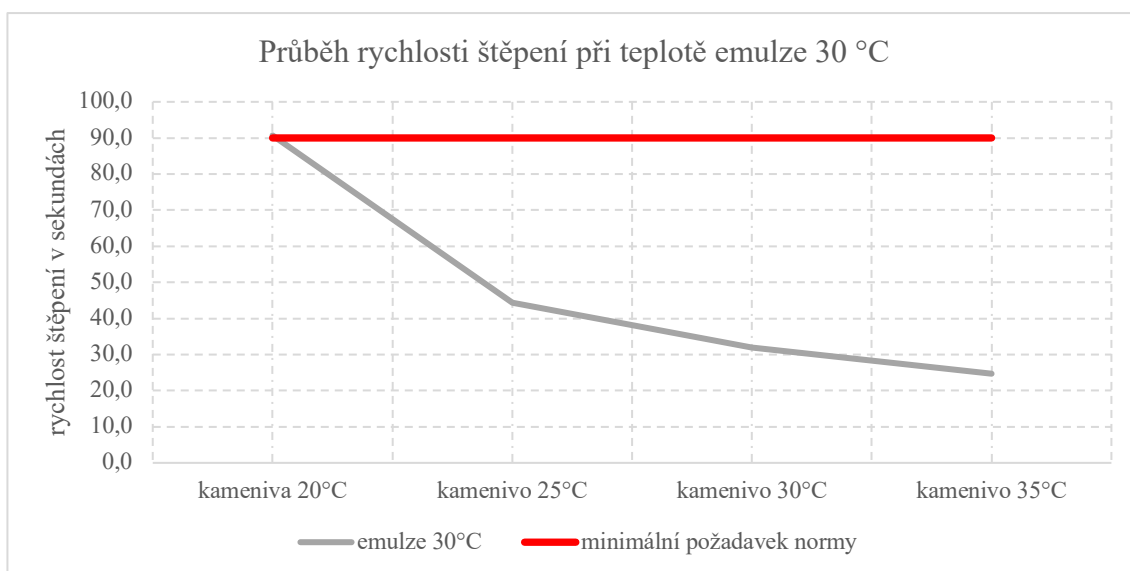
Porovnání rychlostí reakce při obrácené kombinaci teplot:

- emulze 20 °C, kamenivo 30 °C, rychlost reakce 70–72 s,
- emulze 30 °C, kamenivo 20 °C, rychlost reakce 89–91 s.

Všechny ostatní kombinace vyžadují pro dodržení požadavku normy na rychlost štěpení úpravu receptury emulze zvýšením množství redicotu.

teplota emulze [°C]	30	30	30	30
teplota kameniva [°C]	20	25	30	35
průměr rychlosti štěpení [s]	90,67	44,33	32,00	24,67
změna rychlosti [s]		-46,34	-12,33	-7,33

tabulka č. 12 – přehled teplot kameniva a rychlosti reakce s emulzí o teplotě 30 °C



obrázek č. 36 – průběh rychlosti štěpení při teplotě emulze 30 °C

Statistické vyhodnocení je uvedeno v tabulce č. 13, dle výsledku hodnot směrodatné odchylky lze považovat měření za spolehlivé.

číslo série	číslo měření	rychlost štěpení [s]	průměrná hodnota	rozptyl	směrodatná odchylka
12	34	91	90,67	1,56	1,25
	35	92			
	36	89			
13	37	45	44,33	0,89	0,94
	38	45			
	39	43			

14	40	32	32,00	0,67	0,82
	41	33			
	42	31			
15	43	25	24,67	0,22	0,47
	44	24			
	45	25			

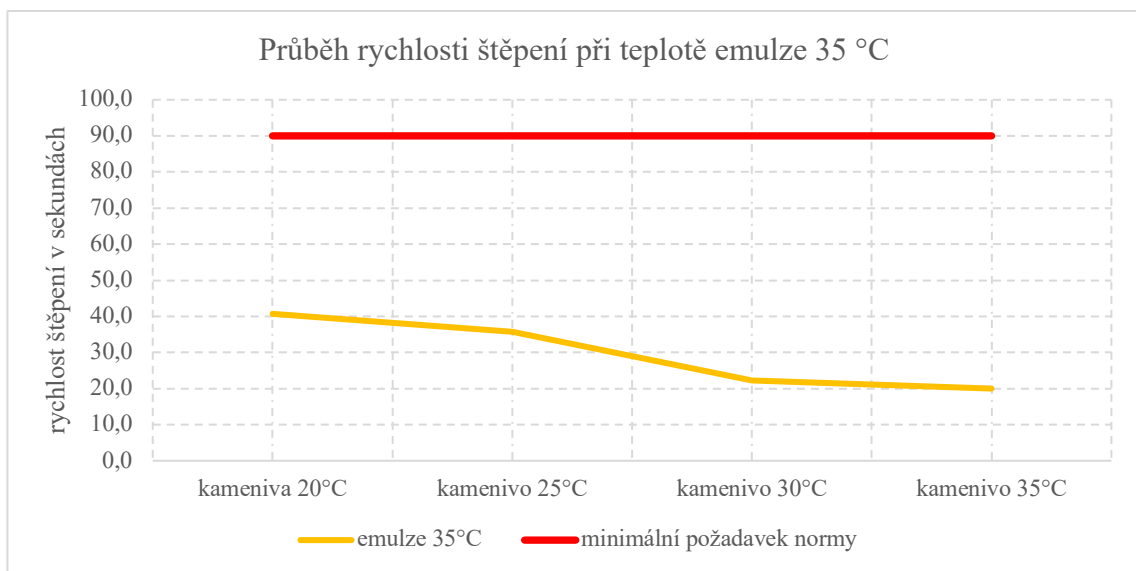
tabulka č. 13 - statistické vyhodnocení rychlosti štěpení kombinace teplot kameniva a emulze 30 °C

5.3.4. Kombinace teplot kameniva a emulze o teplotě 35 °C

Žádná kombinace s emulzí o teplotě 35 °C nespĺňuje požadovaný čas štěpení. Emulze je pro míchání směsi velmi horká a je potřeba ji nechat zchladit nebo nahradit emulzí s vyšším obsahem redicotu.

teplota emulze [°C]	35	35	35	35
teplota kameniva [°C]	20	25	30	35
průměr rychlosti štěpení [s]	40,67	35,67	22,33	20,00
změna rychlosti [s]		-5,00	-13,34	-2,33

tabulka č. 14 – přehled teplot kameniva a rychlosti reakce s emulzí o teplotě 35 °C



obrázek č. 37 – průběh rychlosti štěpení při teplotě emulze 35 °C

Statistické vyhodnocení naměřených hodnot je uvedeno v tabulce č. 15, směrodatná odchylka je velmi malá, proto jsou výsledky měření relevantní.

číslo série	číslo měření	rychlost štěpení [s]	průměrná hodnota	rozptyl	směrodatná odchylka
16	46	41	40,67	0,22	0,47
	47	41			
	48	40			
17	49	36	35,67	0,22	0,47
	50	35			
	51	36			
18	52	22	22,33	0,22	0,47
	53	22			
	54	23			
19	55	20	20,00	0,00	0,00
	56	20			
	57	20			

tabulka č. 15 - statistické vyhodnocení rychlosti štěpení kombinace teplot kameniva a emulze 35 °C

6. Závěrečné zhodnocení a doporučení

Technologie emulzního mikrokoberce se z důvodu klimatických omezení může provádět zhruba od poloviny května do konce září. Z praktických zkušeností se systémem zadávání veřejných zakázek, kdy se většina vypsáných veřejných soutěží realizuje až v 2. polovině roku, vyplývá, že realizace této technologie je ještě více limitovaná. Stavební sezóna je krátká a není prostor pro jakékoliv experimenty a zkoušení receptury na stavbě. Je proto velmi důležité, aby posádka kladeče přesně věděla jakou recepturu v daném klimatickém období použít, případně jaké změny a v jakém pořadí v receptuře provést, aby byla zaručena kvalita a plynulost pokládky.

Na obrázku č. 34 je zobrazena rychlost štěpení v daných sadách kombinací teplot kameniva a emulze. Červená horizontální přímka představuje spodní hraniční hodnotu danou normou pro rychlost štěpení.

Z naměřených hodnot je patrné, že ideální kombinace teplot kameniva a emulze je do 25 °C. Při těchto kombinacích teplot lze zaručit splnění požadavků normy na rychlost štěpení a kvalitu pokládky. V průběhu měsíců července a srpna však teploty vzduchu dosahují ve stínu 30 °C, tehdy se již nejedná o vhodné podmínky pro pokládku EMK. Teplota kameniva na skládce dosahuje teploty kolem 25 °C, stejně tak emulze nevychladne na více než 25 °C. Tím se dostáváme na limitní hodnoty požadované minimální rychlosti štěpení.

Z hodnot rychlosti štěpení je patrné, že teplota a vlhkost kameniva má zásadní vliv (díky svému objemové hmotnosti) na rychlost reakce. Jedním z možných opatření, které by umožnilo udržovat nižší teplotu kameniva, je jeho pravidelné promíchávání, aby se tak kamenivo z povrchu smíchalo s kamenivem ze spodních chladnějších vrstev. Další možností, jak kamenivo ochladit, je jeho kropení studenou vodou. Kropení je však nutné provádět s rozvahou, aby nedošlo k odplavení velmi jemných částic. Zároveň se tím do kameniva dostane větší obsah vody, takže se v receptuře pak musí množství vody snížit.

Teplota emulze při její výrobě se pohybuje kolem 90 °C. Před stáčením do přepravní cisterny je nutné ji nechat zchladit ve skladovacích nádržích. Pokud je emulze vyrobena s dostatečným předstihem (alespoň čtyři dny), zchladne na požadovanou teplotu kolem 20 až 25 °C. V extrémních teplotách v letních měsících je nutné emulzi vyrábět s ještě větším předstihem, aby došlo k požadovanému zchladnutí. Na skladovací nádrže by také bylo možné nainstalovat chladicí zařízení, které by umožnilo rychlejší zchladnutí

emulze. V rámci přepravy je nezbytné používat izolované cisterny, aby se teplota emulze při přepravě a skladování na stavbě nezvyšovala.

Teplotu záměsové vody lze vcelku jednoduše ovlivnit. Dosažení teploty v rozmezí 15–20 °C lze uskutečnit jejím pravidelným doplňováním z odběrného místa. Tím lze zajistit ochlazování v průběhu míchání kalové směsi i při vysokých venkovních teplotách. V extrémních podmínkách lze také povrch vozovky kropit vodou před pokládkou. Dojde tím k ochlazení povrchu, který velmi často má více než 60 °C.

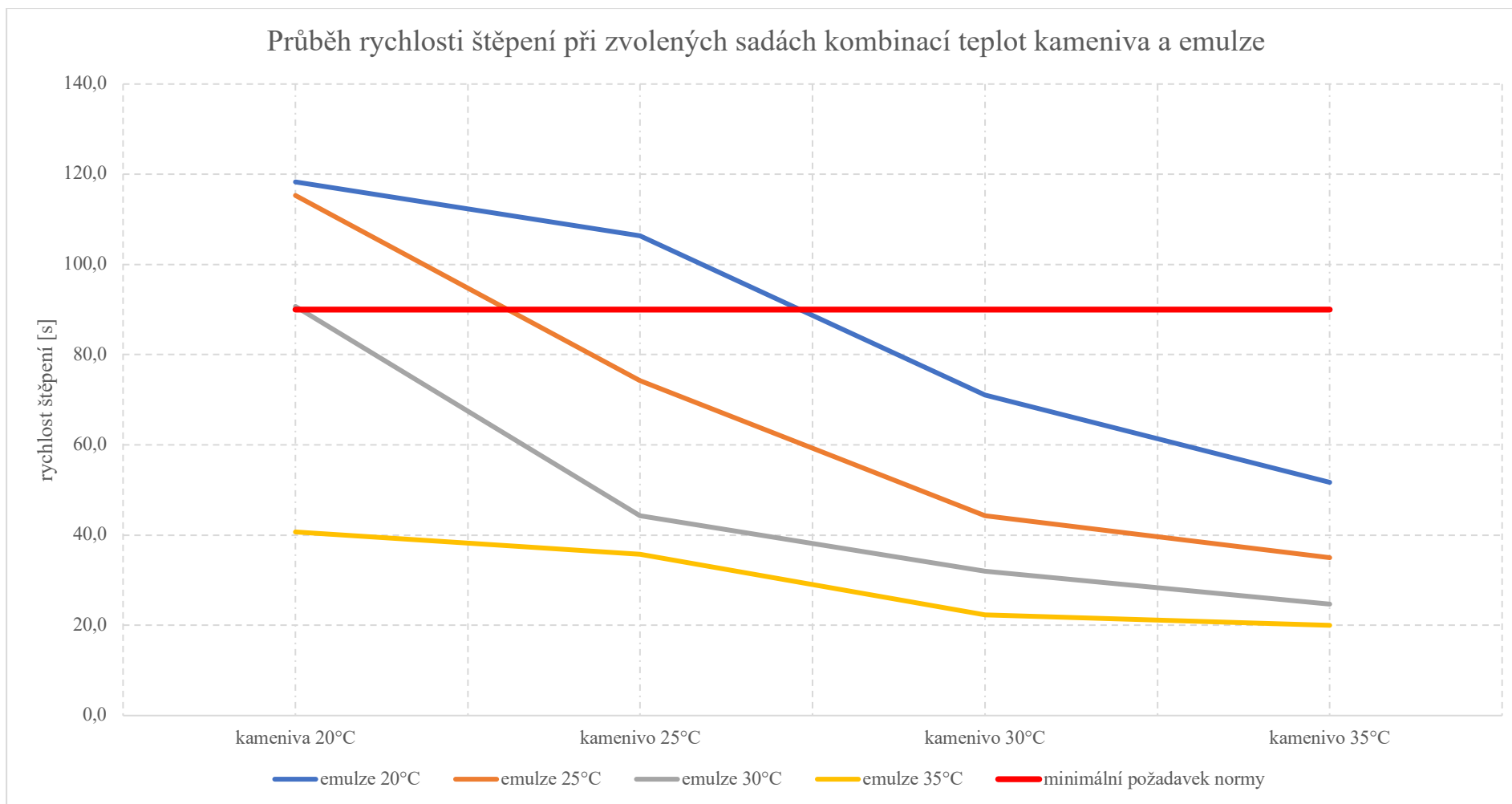
Na obrázku č. 35 je uvedena rychlost štěpné reakce v závislosti na obsahu vody a cementu. Ze závislosti je patrné, že v případě rychlé reakce je potřeba nejprve snížit množství cementu, a teprve potom případně zvýšit množství vody ve směsi. Při obsahu cementu 0,5 % se rychlost štěpení při zvýšení obsahu vody o 1 % (procentuální vyjádření z množství směsi mikrokoberce) zpomalí o 10 sekund. Při obsahu cementu 0,25 % se rychlost při zvýšení obsahu vody o 1 % zpomalí o 35 sekund. V extrémních podmínkách se tedy do směsi bude přidávat minimální množství cementu a zvýšené množství vody, ne však více než 10 %. Pokud by ani při tomto dávkování nebylo možné dosáhnout rychlosti štěpení minimálně 90 sekund, je lepší pokládku na pár dní zastavit a počkat než poklesnou teploty vzduchu.

Zásadním bodem celé pokládky je ruční ověření receptury směsi před začátkem pokládky, kdy se ověří správný poměr komponentů, jejich teplota a vliv na požadovanou dobu reakce a vlastnosti položené kalové vrstvy. Neprovedení takového ověření znamená začít pokládku s recepturou bez znalosti rychlosti štěpení a ladit směr v průběhu pokládky. To má za následek, že vrstva mikrokoberce nebude v celé své ploše homogenní a je otázka zda vůbec vyštěpí a kdy a zda nebude nutné celý úsek další den opravit.

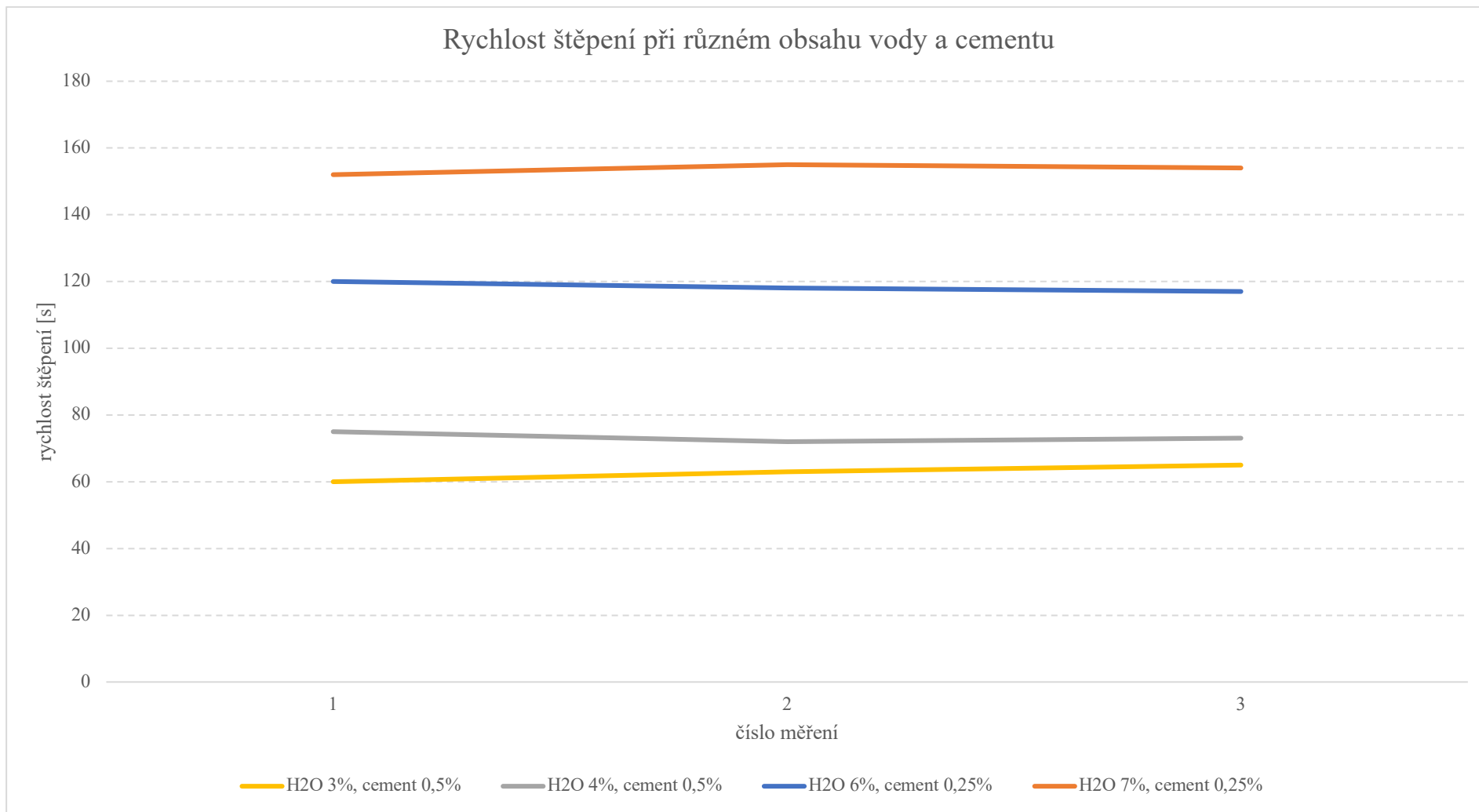
Pokud nelze recepturu pro pokládku ve vysokých teplotách odladit množstvím cementu a vody, lze také zadat do výroby emulze požadavek na zvýšení množství redicotu, který zpomalí štěpnou reakci. Zvyšovat množství redicotu je možné pouze při extrémních teplotách a množství se smí zvýšit v řádu 0,1 %. Předávkováním redicotu hrozí riziko předčasného vyštěpení na povrchu kalové vrstvy, kdy vrstva pod povrchem ještě nebude vyštěpená, a předčasné spuštění provozu by položenou vrstvu mikrokoberce zničilo. Pokud je kladeč mikrokoberce vybaven dalším dávkovačem a nádrží, lze dávkovat redicot i přímo v kladeči. Nedostatečné promíchání redicotu ve směsi však vede k tomu, že vprostřed kladečícího rámu je množství redicotu ve směsi vyšší než na okrajích a pokládaná směs tak není homogenní. Výsledkem jsou nerovnoměrně vyštěpená místa co do plochy a tvaru. Znovu otevření úseku pro provoz má pak za následek poškození

vrstvy mikrokoberce. Zásadním problémem redicotu je, že v případě nevhodného dávkování se prodlouží doba štěpení i o několik hodin. Jsou to známé problémy z pokládek Slurry Sealu, a proto dávkování na kladeči není doporučováno.

Je zřejmé, že vliv na recepturu mikrokoberce nemá pouze teplota komponentů a dávkování cementu a vody. Lze si také pomoci změnou dávkování redicotu při výrobě emulze. Ověření změny rychlosti štěpení v závislosti na množství redicotu v emulzi při různých teplotách je rozhodně téma, kterým by bylo zajímavé se v budoucnu zabývat. Smyslem by mělo být vytvoření dvou až třech receptur emulze s rozdílným obsahem redicotu a jejich pozdější vystavení extrémním teplotám (nízkým i vysokým) komponentů. Předpoklad je, že se zvyšujícím se obsahem redicotu v emulzi, bude rychlost štěpení při vysokých teplotách klesat. Nicméně je důležité ověření i při nižších teplotách, aby rychlost štěpení nepřesáhlo dobu 300 sekund. Předpoklad je, že emulze, která bude splňovat požadavek rychlosti štěpení alespoň 90 sekund ve vysokých teplotách, nebude splňovat maximální dobu štěpení 300 sekund v nízkých teplotách. Ideální by bylo vytvořit 2 druhy emulze – jednu pro jarní/podzimní období a druhou pro letní období.



obrázek č. 38 – průběh rychlosti štěpení při zvolených sadách kombinací teplot kameniva a emulze



obrázek č. 39 – rychlost štěpení EMK při teplotě emulze a kameniva 20 °C a různém obsahu vody a cementu

7. Použitá literatura

- [1] Slurry seal and microsurfacing. *Surfacechemistry Nouryon* [online]. [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: <https://surfacechemistry.nouryon.com>
- [2] LUKAS, Petr. *Živičné kalové zákryty*. Okresní správa silnic v Jičíně. Východočeské tiskárny, provoz 17, Stará Paka, 1970
- [3] ZAJÍČEK, Jan. *Technologie stavby vozovek*. 2014. Praha: INFORMAČNÍ CENTRUM ČKAIT s.r.o., Praha 2014, 2014. ISBN 978-80-87438-59-6
- [4] *Silko s.r.o. silniční práce* [online]. [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: <https://www.silko-ji.cz/sluzby/slurry-seal/>
- [5] ČSN 73 6130 – *Stavba vozovek – Kalové vrstvy*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018
- [6] Přehled výroby a zpracování materiálu pro stavbu vozovek. 2019. Sdružení pro výstavbu silnic, 2019
- [7] Přehled výroby a zpracování materiálu pro stavbu vozovek. 2018. Sdružení pro výstavbu silnic, 2018
- [8] Přehled výroby a zpracování materiálu pro stavbu vozovek. 2017. Sdružení pro výstavbu silnic, 2017
- [9] Přehled výroby a zpracování materiálu pro stavbu vozovek. 2016. Sdružení pro výstavbu silnic, 2016
- [10] Přehled výroby a zpracování materiálu pro stavbu vozovek. 2016. Sdružení pro výstavbu silnic, 2015
- [11] Přehled výroby a zpracování materiálu pro stavbu vozovek. 2014. Sdružení pro výstavbu silnic, 2014
- [12] Přehled výroby a zpracování materiálu pro stavbu vozovek. 2014. Sdružení pro výstavbu silnic, 2013
- [13] Přehled výroby a zpracování materiálu pro stavbu vozovek. 2014. Sdružení pro výstavbu silnic, 2012
- [14] Přehled výroby a zpracování materiálu pro stavbu vozovek. 2014. Sdružení pro výstavbu silnic, 2011

- [15] Přehled výroby a zpracování materiálu pro stavbu vozovek. 2014. Sdružení pro výstavbu silnic, 2010
- [16] Přehled výroby a zpracování materiálu pro stavbu vozovek. 2014. Sdružení pro výstavbu silnic, 2009
- [17] VARAUS, Michal. Pozemní komunikace II – modul 3 – asfaltová pojiva. VUT Brno, fakulta stavební
- [18] ČSN 73 6132 - *Stavba vozovek – kationaktivní asfaltové emulze*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018
- [19] ČSN EN 13 043 – Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004
- [20] Foto archiv společnosti Vialit Soběslav spol. s r.o.
- [21] Foto archiv Jakub Valenta
- [22] DANAYER, Christopher a Jan KUDRNA. Vápenný hydrát: chemicky aktivní filer pro vysoce jakostní asfaltové vozovky
- [23] ČSN 73 6129 – *Stavba vozovek – Postřikové technologie*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018
- [24] ČSN EN 12 273 – *Kalové vrstvy – specifikace*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [25] KOUDELKA, Tomáš. *Mikrokoberce za studena*. Brno, 2012. Bakalářská práce. VUT Brno, fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D
- [26] *Microsurfacing Contractors LLC* [online]. [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: <https://www.micro-surfacing.com>
- [27] BLEIER, Johann a Kurt BIRNGRUBER. DUO – BELAG. *Vialit Asphalt GmbH*