



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**MOŽNOSTI VYUŽITÍ RŮZNÝCH DRUHŮ POPÍLKŮ
PŘI VÝROBĚ OXIDOVANÝCH ASFALTOVÝCH
IZOLAČNÍCH PÁSŮ**

POSSIBILITIES OF UTILISATION DIFFERENT TYPES OF FLY ASHES IN THE PRODUCTION OF OXIDIZED ASPHALT INSULATION STRIPS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radka Sklenářová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc.,
MBA**

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Radka Sklenářová
Název	Možnosti využití různých druhů popílků při výrobě oxidovaných asfaltových izolačních pásů
Vedoucí práce	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

- [1] JAMSHIDI, Ali, HASAN, Mohd RosliMohd, LEE, Mei Tingl. Comparative study on engineering properties and energy efficiency of asphalt mixes incorporating fly ash and cement. Construction and Building Materials. April 2018, pp. 295-304.
- [2] LIKITLERSUANG, Suched, CHOMPOORAT, Thanakorn. Laboratory investigation of the performances of cement and fly ash modified asphalt concrete mixtures. International Journal of Pavement Research and Technology. September 2016, pp. 337-344
- [3] MISTRY, Raja, ROY, Tapas Kumar. Effect of using fly ash as alternative filler in hot mix asphalt. Perspectives in Science. September 2016, pp. 307-309.
- [4] PAHLAVAN, Farideh, MOUSAVI, Masoumeh, HUNG, Albert H., FINI, Elham H. Characterization of oxidized asphaltenes and the restorative effect of a bio-modifier. Fuel. January 2018, pp. 593-604
- [5] TRUMBORE, David C., FRAZEN, Michael R., WILKINSON, Charles R. Oxidized asphalt rubber system.
- [6] KING, G., KING, H., PAVLOVICH, R.D., TEXAS, A.L.E., KANDHAL, P. Aditives in asphalt.
- [7] Normy a předpisy zabývající se zkoušením asfaltů a asfaltových izolačních pásů
- [8] Další vědecké a odborné publikace zabývající se experimentálním zkoušením asfaltů a asfaltových izolačních pásů

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Hlavním cílem diplomové práce je ověřit možnosti využití různých druhů elektrárenských popílků jako plniva do asfaltových směsí pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů. Snahou je přezkoumat vliv jednotlivých vlastností popílků na chování výsledných asfaltových směsí (mastix) z těchto popílků vyrobených a určených pro výrobu asfaltových oxidovaných izolačních pásů.

1. V teoretické části zpracujte doposud získané poznatky z oblasti výroby a zkoušení asfaltových izolačních pásů. Zaměřte se na dělení, složení a výrobu asfaltových pásů.
2. Ověřte vlastnosti různých druhů elektrárenských popílků, vhodných pro výrobu asfaltových oxidovaných izolačních pásů.
3. Navrhněte metodiku zkoušení asfaltových směsí (mastixů) určených pro výrobu asfaltových oxidovaných izolačních pásů.
4. Ověřte vlastnosti asfaltových směsí určených pro výrobu oxidovaných izolačních pásů připravených z vybraných druhů popílků.
5. Na základě zjištěných vlastností vybraných druhů popílků a asfaltových směsí (mastixů) z těchto popílků vyrobených posudte vliv vlastností popílků na výsledné chování těchto směsí určených pro výrobu asfaltových oxidovaných izolačních pásů
6. Zhodnoťte možnosti využití vybraných druhů popílků ve výrobě asfaltových oxidovaných izolačních pásů.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

ABSTRAKT

Snížování dopadů moderní průmyslové výroby na životní prostředí a redukce vzniklých odpadů je bezpochyby jedním z nejdiskutovanějších témat současné doby. Při výrobě elektrické energie založené na spalování fosilních paliv je generováno velké množství jemnozrnných odpadních popílků. Možné využití těchto popílků jako druhotné suroviny ve stavebnictví a výrobě stavebních hmot je jedním z mnoha environmentálních úkolů, kterými se sektor energetického průmyslu zabývá.

Cílem diplomové práce bylo ověřit možnosti využití různých druhů elektrárenských popílků jako plniva do asfaltových směsí pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů. Hlavní důraz byl kladen na objasnění vlivu vlastností jednotlivých druhů popílků na výsledné reologické chování směsi asfaltového pojiva a elektrárenského popílku, která je odborně nazývána mastix. Mastix tvoří ve skladbě asfaltového izolačního pásu technologicky klíčovou izolační vrstvu. Predikce reologických vlastností a tedy i zpracovatelnosti mastixu se jeví jako zásadní prvek při řízení výroby, především za podmínek proměnlivosti vstupních surovin.

K řešení zadaného úkolu bylo nutno provést podrobné analýzy vlastností popílků, zvolit odpovídající kvantifikační veličinu pro posouzení zpracovatelnosti mastixu a nalézt signální vlastnost popílků, která se jeví jako řídicí parametr zpracovatelnosti. Jako vhodná metoda pro posouzení zpracovatelnosti mastixů byla zvolena metoda měření viskozity ve smyku.

Na základě zjištěných údajů je možné konstatovat, že se využití popílků pocházejících z fluidního spalování pro výrobu oxidovaných asfaltových pásů nedoporučuje neboť mastixy připravené z těchto popílků jsou za předpokládaných koncentrací nezpracovatelné. Negativní vliv popílků po denitrifikaci na zpracovatelnost mastixů nebyl prokázán.

KLÍČOVÁ SLOVA

oxidované asfaltové izolační pásy, asfaltová povlaková vrstva, elektrárenské popílků, mastix, metodika laboratorního zkoušení mastixů, viskozita mastixu

ABSTRACT

Reducing the impact of modern industrial production on the environment and reducing the waste generated is undoubtedly one of the most discussed topics of the present time. In the production of fossil-fueled electricity, a large amount of fine-grained waste fly ash is generated. The possible use of ash as secondary raw materials in the construction and building materials industry is one of the many environmental challenges that the energy industry is concerned with.

The aim of this diploma thesis was to verify possibilities of utilization of different kinds of power station fly ash as filler in asphalt mixtures for the production of oxidized asphalt insulation strips. The main emphasis was put on the clarification of the influence of the properties of the different types of fly ashes on the resulting rheological behavior of the mixture of asphalt binder and power fly ash, which is professionally called mastic. Mastic forms a technology-critical insulating layer in the asphalt insulation strip. The prediction of the rheological properties and therefore the workability of mastic appears to be an essential element in the management of production, especially under the conditions of the variability of input raw materials.

In order to solve the assigned task it was necessary to perform detailed analyzes of fly ash properties, to select the corresponding quantification variable for assessment of the mastic processability and to find the signal fly ash properties, which appears to be a control parameter of workability. As a suitable method for assessing the processability of mastic, a shear viscosity measurement method was chosen.

On the basis of the findings, it is possible to state that the use of fly ash from the production of oxidized asphalt bands is not recommended as the mastic prepared from these fly ashes are unprocessed at the assumed concentrations. The negative effect of fly ash after denitrification on the mastic processability has not been demonstrated.

KEYWORDS

oxidized asphalt insulation belts, asphalt cover layer, fly ash, mastic, methodology of mastic laboratory testing, viscosity of mastic

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Radka Sklenářová *Možnosti využití různých druhů popílků při výrobě oxidovaných asfaltových izolačních pásů*. Brno, 2019. 124 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Možnosti využití různých druhů popílků při výrobě oxidovaných asfaltových izolačních pásů* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Radka Sklenářová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Možnosti využití různých druhů popílků při výrobě oxidovaných asfaltových izolačních pásů* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Radka Sklenářová

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Rostislavu Drochytzkovi, CSc., MBA za umožnění realizace této práce a za jeho vedení. Mé obrovské poděkování patří RNDr. Svatoplukovi Stokláskovi za jeho neodmyslitelný přínos při provádění výzkumu a za jeho obrovskou vstřícnost, obětavost a odbornou pomoc v průběhu vypracovávání celé této diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala Ing. Jakubu Hodulovi za jeho vstřícnost a odbornou pomoc, zejména při vypracovávání textové formy této diplomové práce. Ráda bych také poděkovala Ing. Tomáši Žlebkovi za jeho pomoc při provádění praktické části této práce. Děkuji Ústavu technologie stavebních hmot a dílců a Ústavu pozemních komunikací FAST VUT v Brně za možnost využití zkušebních laboratoří a přístrojů. Diplomová práce byla provedena s využitím infrastruktury centra AdMas. V neposlední řadě, bych ráda poděkovala své rodině a blízkým za jejich podporu po celou dobu studia, jehož součástí je i tato diplomová práce.

Obsah

Úvod	13
A. Teoretická část	15
1 Asfaltové izolační pásy	15
1.1 Dělení asfaltových izolačních pásů	15
1.1.1 Dělení asfaltových pásů dle norem.....	16
1.1.1 Další dělení asfaltových pásů.....	17
1.2 Skladba asfaltového izolačního pásu	19
1.2.1 Povrchové úpravy.....	19
1.2.2 Nosné vložky	20
1.2.3 Asfaltová povlaková vrstva.....	23
1.3 Technologie výroby asfaltových izolačních pásů	25
1.3.1 Namísení asfaltové směsi.....	26
1.3.2 Homogenizace asfaltové směsi	26
1.3.3 Nanesení asfaltové směsi na nosnou vložku	27
1.3.4 Nanesení separace proti slepení v rolích	28
1.3.5 Chlazení	28
1.3.6 Balení	29
1.4 Zkoušení vlastností asfaltových izolačních pásů.....	29
2 Asfaltová povlaková vrstva pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů..	30
2.1 Asfalty.....	30
2.1.1 Asfalty oxidované stavebně – izolační (AOSI).....	31
2.1.2 Silniční asfalty (ASF).....	31
2.2 Elektrárenské popílky	31

2.2.1	Vysokoteplotní popílků (VP).....	31
2.2.2	Fluidní popílek a popel (FP).....	32
2.2.3	Vlastnosti popílků.....	33
1.1.1	Proces denitrifikace.....	35
2.3	Receptura pro zhotovení mastixů pro výrobu OAIP.....	36
Cíl práce		37
B. Praktická část.....		38
Metodika práce		39
3 Popis prováděných zkoušek		43
3.1.1	Stanovení ztráty sušením	43
3.1.2	Stanovení ztráty žíháním	43
3.1.3	Stanovení měrné hmotnosti pyknometrickou metodou.....	43
3.1.4	Stanovení měrného povrchu permeabilní metodou (Blaine).....	43
3.1.5	Stanovení sypané hmotnosti volně sypané	44
3.1.6	Stanovení nasákavosti	44
3.1.7	Stanovení granulometrického složení	45
3.1.8	Stanovení chemického složení	45
3.1.9	Stanovení pH výluhu	45
3.1.10	Stanovení bodu měknutí.....	46
3.1.11	Stanovení penetrace jehlou.....	47
3.1.12	Stanovení dynamické viskozity	47
3.1.1	Stanovení torzního momentu.....	48
3.1.1	Stanovení modulu tuhosti ve smyku a viskozity.....	48
4 Etapa I: Analýza vlastností popílků jako plniv do mastixů pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů.....		49

4.1	Vlastnosti popílků	49
4.1.1	Stanovení ztráty sušením	54
4.1.2	Stanovení ztráty žíháním	55
4.1.3	Stanovení měrné hmotnosti	55
4.1.4	Stanovení měrného povrchu	56
4.1.5	Stanovení sypané hmotnosti volně sypané	58
4.1.6	Stanovení nasákavosti	59
4.1.7	Stanovení granulometrického složení	60
4.1.8	Zobrazení mikrostruktury	63
4.1.9	Stanovení chemického složení	64
4.1.10	Stanovení pH výluhu popílku	65
4.2	Závěr Etapy I	66
5	Etapa II: Návrh metodiky laboratorního zkoušení a analýza vlastností mastixů pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů	67
5.1	Návrh metodiky zkoušení mastixů	69
5.1.1	Stanovení dynamické viskozity	69
5.1.2	Stanovení torzního momentu	70
5.1.3	Stanovení modulu tuhosti ve smyku	70
5.1.4	Stanovení viskozity	73
5.2	Analýza vlastností mastixů	76
5.2.1	Stanovení bodu měknutí	76
5.2.2	Stanovení penetrace jehlou	78
5.2.3	Snímky vnitřní struktury mastixu	80
5.2.4	Stanovení viskozity	81
5.3	Závěr Etapy II	87

6	Etapa III: Analýza vlivu vlastností popílků na zpracovatelnost mastixů pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů.....	88
6.1	Výběr parametrů popílku s předpokládaným vlivem na zpracovatelnost.....	88
6.2	Analýza závislostí viskozity a parametrů popílku s předpokládaným vlivem na zpracovatelnost.....	89
6.2.1	Závislost viskozity mastixu na granulometrii popílku.....	89
6.2.2	Závislost viskozity mastixu na nasákavosti popílků	90
6.2.3	Závislost viskozity mastixu na měrném povrchu popílku	91
6.2.4	Závislost viskozity mastixu na hodnotě pH výluhu popílku	91
6.2.5	Závislost viskozity mastixu na chemickém složení popílku.....	92
6.3	Závěr Etapy III.....	93
7	Etapa IV: Rozbor možností využití vybraných druhů popílků jako plniv do mastixů pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů	94
7.1	Popílek A	95
7.2	Popílek B	97
7.3	Popílek C	99
7.4	Popílek D.....	101
7.5	Popílek E.....	103
7.6	Popílek F.....	105
7.7	Popílek G.....	107
7.8	Popílek H.....	109
7.9	Závěr Etapy IV.....	110
8	Souhrn výsledků a jejich diskuze	111
8.1	Analýza vícefaktoriálního vlivu vlastností popílku na zpracovatelnost mastixu	112
9	Závěr	115
10	Seznamy	117

10.1	Seznam použitých zdrojů.....	117
10.2	Seznam použitých zkratk a symbolů	120
10.3	Seznam tabulek.....	121
10.4	Seznam obrázků	121
10.5	Seznam diagramů.....	123

Úvod

Snižování produkce odpadů energetického průmyslu je bezpochyby jedním z největších témat poslední doby. V ČR je ročně produkováno okolo 10 miliónů tun popílku, které tvoří 80 % celkové produkce všech vedlejších energetických odpadů – vysokoteplotní popílků z toho tvoří 87,5 % a fluidní popílků 12,5 %, přičemž pouhých 20 % se využijí jako druhotné suroviny, 80 % se pak využívá na zahlazování následků hornické činnosti. Převážná většina popílku jako druhotné suroviny je využita ve stavebním průmyslu – ve stavbách dopravní infrastruktury, příměsí do betonu a cementu. [1][2]

Popílek je však možné také využít jako plnivo do asfaltových směsí. Využití popílků pro výrobu asfaltových povlakových vrstev ve výrobě oxidovaných asfaltových izolačních pásů by znamenalo, díky možnosti vysokého podílu obsahu popílku ve směsi, značný přínos v redukci odpadového hospodářství. Hlavními výhodami využití popílku je zlepšení vlastností asfaltové hmoty a dále snížení výrobních nákladů a dopadu na životní prostředí. Existují dvě potenciální možnosti využití popílku v asfaltových směsích: jako náhrada kamenné moučky nebo jako substituce určitého množství asfaltu. Předchozí studie ukázaly, že přídavek popílku zlepšuje celkový charakter mastixu a zvyšuje viskozitu a komplexní modul při vysokých teplotách. Naopak při nízkých teplotách však zvyšuje křehkost mastixu, čímž snižuje jeho celkový přínos.[3]

Již v minulosti byl řešen vliv velikosti částic popílku na viskozitu asfaltu, vzduchové póry, hustotu a mechanické vlastnosti asfaltobetonů. K výzkumu bylo využito popílku se střední velikostí částic (1–44 μm). Výsledky potvrdily, že přídavek popílku zvyšuje pevnost v tahu, odolnost proti stálé a únavové deformaci. Bylo zjištěno, že optimální je nahrazení až 40 % popílku se středními částicemi v suchém klimatu a až 30 % ve vlhkém klimatu. [3]

Dále byla v dřívějších studiích sledována interakce popílku a asfaltu. Popílek dokazoval dominantní účinek efektu plnění. Částice vykazovaly hydrodynamickou interakci, která zvyšuje odolnosti při zatížení. Zpevňující účinek stejně jako efekt plnění je závislý od efektivního objemu popílku. Byla dokázána zvýšená odolnost při tečení při nízkých teplotách za přídavku popílku.[3]

S nabytím platnosti vyhlášky č.415/2012 Sb. týkající se zavedení technologie denitrifikace při spalovacích procesech, vyvstala otázka, zda popílek pocházející z tohoto procesu nějak neovlivňuje chování mastixů. Vzhledem k tomu, že informace o instalovaných denitrifikačních technologiích v českých a slovenských elektrárnách jsou těžko dohledatelné, není zřejmé, zda byly instalovány také katalytické kotouče na kotlích, které by zabraňovaly ovlivnění kvality popílku prokluzem amoniaku. Největší podíl hydrogensulfátu amonného,

pocházejícího z procesu denitrifikace, se totiž váže právě na popílek. Kontaminace popílku amoniakem závisí především na kvalitě popílku – obecně platí, že popílek jehož výluh vykazuje kyselé chování na sebe váže více amoniaku než popílek zásadité povahy. [4]

A. Teoretická část

V teoretické části této diplomové práce (DP) je zpracována rešerše doposud získaných poznatků z oblasti výroby a zkoušení asfaltových izolačních pásů. Zaměřuje se především na dělení, složení a výrobu asfaltových izolačních pásů.

1 Asfaltové izolační pásy

Asfaltové izolační pásy se využívají k izolaci proti podzemní (tlakové) vodě nebo zemní vlhkosti, k izolaci střech proti zatékání do budov skrze střešní konstrukci a v neposlední řadě taktéž jako parozábrana ve střešních konstrukcích.

Mezi nejvýznamnější výrobce v České Republice patří firmy DECHTOCHEMA-TN, a. s. , Charvát, a. s. a KVK Parabit a. s. V Evropě mezi nejvýznamnější země výrobců asfaltových pásů patří Slovensko, Německo, Francie, Švédsko a Rusko.

Výroba asfaltových pásů je v České republice na špičkové úrovni a těší se zájmu mnoha zákazníků. Tuzemští výrobci nabízejí téměř celý sortiment asfaltových pásů, které se mohou lišit tloušťkou, druhem použitého asfaltu popř. jeho modifikací, typem a uložením nosné vložky a v neposlední řadě povrchovými úpravami. Označení asfaltových pásů z oxidovaných asfaltů se u každého výrobce liší: např. firma KVK PARABIT, a.s. nazývá své výrobky SKLOBIT, BITAGIT a PARABIT, firma Dehtochema, a. s. nabízí výrobky jako A 330, IPA V60 S35 nebo BITALBIT S aj. a firma Charvát, a. s. třeba charBIT V60 S35, charBIT G200 S40 anebo například charBIT AL S 35 apod. Každý výrobce přináší do jednotlivých výrobků své jedinečné „know-how“, které jej odlišuje od ostatních. Obecně však všechny musí splňovat požadavky platných norem. [5] [6]

1.1 Dělení asfaltových izolačních pásů

Asfaltových pásů je v současné době celá řada. Jednotlivé druhy se od sebe mohou vzájemně lišit napříč celým průřezem, záleží zejména na účelu použití ve stavbě a z toho vyplívajícím způsobu předpokládaného budoucího namáhání. Odlišnosti nalezneme například v samotné tloušťce pásu, druhu použitého asfaltu a jeho modifikaci, povrchové úpravě a typu a uložení nosné vložky. Všechny části je nutno uvažovat při výrobě tak, aby byly splněny normativní požadavky a bylo dosaženo požadovaných konečných vlastností produktů. [5][7]

1.1.1 Dělení asfaltových pásů dle norem

Základní norma v oblasti asfaltových pásů je ČSN 73 0605-1 *Hydroizolace staveb – Povlakové izolace – Požadavky na použití asfaltových pásů*, která uvádí rozdělení asfaltových pásů podle místa a způsobu použití ve stavbě, jak je znázorněno v tabulce č.1. [8]

Tab.č.1: Rozdělení asfaltových pásů podle místa a způsobu použití ve stavbě [8]

Charakteristika výrobku	Místo a způsob použití (norma výrobku)	Podrobnosti použití, bližší charakteristika výrobku
Asfaltový pás	Hydroizolace střech (ČSN EN 13707)	Podkladní vrstva, mezivrstva, vrchní vrstva Jednovrstvá aplikace, vrchní vrstvy pro vegetační střechy
	Hydroizolace spodní stavby (ČSN EN 13969)	V podmínkách působení zemní vlhkosti (TYP A) V podmínkách působení vody působící hydrostatickým tlakem (TYP T)
	Parozábrana staveb (ČSN EN 13970)	-
Asfaltový pás samolepicí	Hydroizolace střech (ČSN EN 13707)	Podkladní vrstva, mezivrstva Vrchní vrstva Jednovrstvá aplikace
	Hydroizolace spodní stavby (ČSN EN 13969)	V podmínkách působení zemní vlhkosti
	Parozábrana staveb (ČSN EN 13970)	-
Oxidované pásy typu V60 S35		
Oxidované pásy typu G200 S40		

V následující tabulce č. 2 je dále znázorněno rozšířené rozdělení asfaltových pásů uvedené v tabulce č. 1 na základě příslušných norem. Uvedeny jsou také materiálové charakteristiky. [5] [8] [9] [10] [11] [12],

Tab.č.2: Další rozdělení asfaltových pásů podle místa a použití ve stavbě a jejich materiálové charakteristiky [5][8][9][10][11][12]

Druhy izolací podle místa použití		Typ asfaltového pojiva	Typ nosné vložky	Typ povrchové úpravy
Hydroizolace střech (ČSN EN 13707)	Jednovrstvé hydroizolační systémy	PBM (SBS popř. APP) OX	P, G popř. jejich kombinace	proti UV; hrubozrnný posyp, granulát, speciální fólie
	Vícevrstvé hydroizolační systémy	Podkladní vrstva, mezivrstva	P, G popř. jejich kombinace	pouze horní líc; spalitelná fólie jemnozrnný minerální posyp

		Vrchní vrstva	PBM (SBS)	P, G popř. jejich kombinace	proti UV; hrubozrnný posyp, granulát, speciální folie
			PBM (APP)	P, G popř. jejich kombinace	-
Hydroizolace spodní stavby (ČSN EN 13969)	Izolace proti vlhkosti - TYP A		PBM (SBS popř. APP), OX	P, G, jejich kombinace popř. V	horní líc; spalitelná fólie, jemnozrnný minerální posyp
	Izolace proti tlakové vodě - TYP T		PBM (SBS popř. APP), OX	P, G popř. jejich kombinace	horní líc; spalitelná fólie, jemnozrnný minerální posyp
Parozábrany (ČSN EN 13970)	Parozábrany		PBM (SBS popř. APP)	dle podkladu	horní líc; spalitelná fólie, jemnozrnný minerální posyp
Izolace proti radonu (ČSN 73 0601)	Izolace proti radonu		PBM (SBS popř. APP), OX	kombinace P; G; V; Al se zaručenou hodnotou součinitele difúze radonu	horní líc; spalitelná fólie, jemnozrnný minerální posyp
<p>PBM SBS – polymerem modifikovaný asfalt (styren-butadien-styren) PBM APP – polymerem modifikovaný asfalt (ataktického polypropylenu) OX – oxidovaný asfalt P – nosná vložka na bázi polypropylenu G – nosná vložka na bázi skleněné tkaniny V – nosná vložka na bázi sklené rohože Al – kombinace vložek P, G, V s hliníkovou fólií</p>					

1.1.1 Další dělení asfaltových pásů

1.1.1.1 Z hlediska materiálu asfaltu

- Asfaltové pásy z OX
- Asfaltové pásy z PBM SBS
- Asfaltové pásy z PBM APP [13] [14]

1.1.1.2 Z hlediska obsahu asfaltové povlakové vrstvy

- Pásky bez asfaltové povlakové vrstvy – TYP A – hadrová nosná vložka je pouze naimpregnována
asfaltovou hmotou
- Pásky s asfaltovou povlakovou vrstvou – TYP R – tloušťka je menší než 1 mm a připevňuje se pomocí
přibíjení
– TYP S – tloušťka je větší než 1 mm a připevňuje se pomocí
hořáku natavením [15]

1.1.1.3 Z hlediska vlastností nosné vložky

Materiál nosné vložky

- Papír
- Polyester (P)
- Skelné vlákno (skelná tkanina (G), skelná rohož (V))
- Kovová nosná vložka (Hliníková (Al))
- Hadrová lepenka (H)
- Kombinovaná nosná vložka (polyester a skelné vlákno, speciální nosné vložky) [5]

Nasákavost nosné vložky

- Nasákavé nosné vložky
- Nenasákavé nosné vložky [14]

1.1.1.4 Z hlediska zpracování a možnosti kotvení pásu na pás

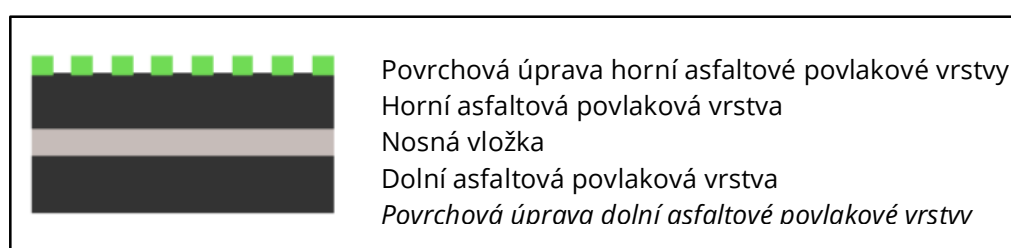
- **Lehké** asfaltové hydroizolační pásy **typu A a R** – slouží jako separační pomocné (nenatavitelné vrstvy)
– nevhodné ke kotvení
- Asfaltové hydroizolační pásy **typu S** – natavitelné asfaltové hydroizolační pásy (svařitelné)
– vhodné ke kotvení

- **Speciální typy** asfaltových hydroizolačních pásů – k mechanickému kotvení či samolepicí asfaltové

hydroizolační pásy [14] [15]

1.2 Skladba asfaltového izolačního pásu

Obecně se asfaltový izolační pás skládá z nosné vložky, asfaltových povlakových vrstev z obou stran nosné vložky a povrchových úprav obou těchto vrstev. Nákres obvyklé skladby takového pásu lze vidět na Obrázku č. 1. [5]



Obr. č. 1: Obvyklá skladba asfaltového pásu [5]

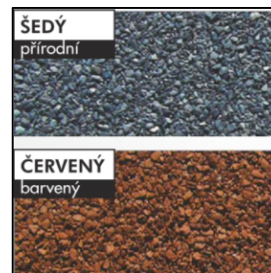
1.2.1 Povrchové úpravy

Horní líc pásu bývá vystaven působení povětrnosti a UV záření – z toho důvodu se opatřuje povrchovou úpravou ve formě hrubozrnného minerálního posypu (např. drcenou břidlicí nebo křemičitým pískem), kovové fólie nebo keramického granulátu popřípadě jinou dostatečnou ochranou. Povrchová ochrana navíc napomáhá snížení povrchové teploty materiálu, což zejména během slunečných období napomáhá k prodloužení životnosti výrobků. Asfaltové pásy vyrobené z asfaltu modifikovaného ataktickým polypropylenem (APP) tento typ ochrany nevyžadují. Barva hrubozrnného minerálního posypu nemá významný vliv na funkční vlastnosti asfaltových pásů, nicméně z estetických důvodů bývá minerální posyp často barven. Na Obrázku č. 2 lze vidět detail asfaltového pásu a hrubozrnným minerálním posypem na horním líci a ukázkou přírodního a barveného vzhledu minerálního posypu lze pozorovat na Obrázku č. 3.

Na spodním líci se jako ochrana proti slepení pásů v roli pro dosažení separace asfaltových pásů používá jemnozrnný minerální posyp, spalitelná nebo snímatelná fólie (tj. v případě samolepicích pásů např. polyetylenová fólie), netkané textilie, smyčková rohož, stříž nebo třeba papír. [5][15][16]



Obr. č. 2: Detail asfaltového pásu s hrubozrnným minerálním posypem [5]



Obr. č. 3: Minerální posyp [15]

1.2.2 Nosné vločky

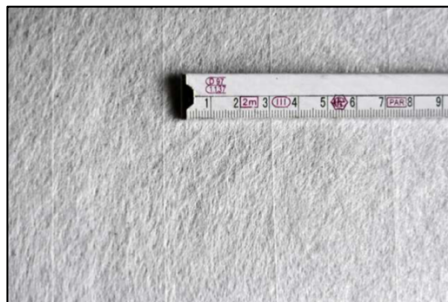
Nosná vložka tvoří v asfaltovém pásu vyztužující složku – přináší stabilitu, mechanickou pevnost nebo některé další funkční vlastnosti a mj. umožňuje výrobu asfaltových pásů. Nachází se buďto uvnitř anebo na povrchu asfaltového pásu a její struktura výrazně ovlivňuje faktor difúzní propustnosti. Před nanesením povlakové vrstvy by měly být vločky ve výrobě předem naimpregnovány. [5][15]

1.2.2.1 Nosná vložka typu P

Jedná se o nosné vločky na bázi polyesteru (P) - řadíme sem jednak vločky čistě z polyesterového rouna tak i kombinace s jinými materiály ovšem stále s převažujícím podílem polyesterového rouna tzv. spřažené vločky jako například polyesterové nosné vločky vyztužené skleněnými vlákny pro zlepšení rozměrové stability. Vyztužení může být provedeno v podélném nebo podélném i příčném směru. Dosahuje se tak uspokojivé rozměrové stálosti při zachování tažnosti. Detail nosné vločky na bázi polyesteru podélně vyztuženého skleněnými vlákny lze vidět na Obrázku č. 4.

Tento typ nosné vločky je vhodný pro použití jako vrchní i spodní pás vystavený povětrnosti. Při tahovém zatížení totiž vykazují elastické protažení v řádu až desítek procent. Obvyklá plošná hmotnost se pohybuje v rozmezí 180 až 250 g·m⁻². Vložku je nutno během výroby asfaltového pásu předem impregnovat, aby bylo rouno dobře prostoupeno asfaltem.

Limitujícím faktorem je menší rozměrová stálost při změně teploty - při nešetrném natavování pásu může dojít vlivem tepla deformaci vločky a tím i k degradaci funkčních vlastností celého pásu. [5][15][16]

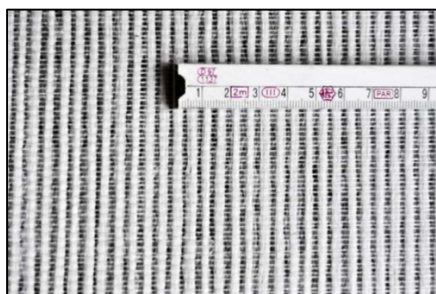


Obr. č. 4: Nosná vložka typu P na bázi polyesterového rouna podélně vyztuženého skleněnými vlákny [5]

1.2.2.2 Nosná vložka typu G

Vložky na bázi skleněné tkaniny (G) nebo její kombinace s jiným typem materiálu ovšem stále s převažujícím podílem skleněné tkaniny. Vložky je nutno předem impregnovat asfaltovou hmotou, aby byla tkanina dobře prostoupena asfaltem. Detail nosné vložky na bázi skleněné tkaniny lze vidět na obrázku č. 5.

Dosahují vysokých pevností a jejich plošná hmotnost bývá okolo $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Vložky typu G se využívají pro mechanicky kotvené systémy, protože dosahují velké mechanické odolnosti a jsou zároveň jsou dobře ohebné, čehož se využívá právě u řešení detailů. Dále se užívají jako podkladní pásy a u spodních staveb. Nevýhodou je jejich neelastičnost, což limituje jejich použití pro aplikace vystavené povětrnostním vlivům. Ukázkou vložky na bázi skleněné tkaniny lze vidět na Obrázku č. 5. [5][15]



Obr. č. 5: Nosná vložka typu G na bázi skleněné tkaniny [5]

1.2.2.3 Nosná vložka typu V

Vložky na bázi skleněné rohože (V), které jsou zpracovávány z netkaných vláken, což má za následek nízkou odolnost vložek v ohybu – pás s vložkou tohoto typu lze trhat pouhou rukou. Na druhou stranu, vložky obvykle není nutno předem samostatně impregnovat, asphalt projde dobře strukturou vláken. Obvyklá plošná hmotnost je od 50 až $100 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Tento typ nosné vložky se používá pro méně významné stavby jako je např. garáž, pergola nebo třeba kůlna. Na Obrázku č. 6 je uveden vzhled vložky na bázi skleněné rohože. [5][15]



Obr. č. 6: Nosná vložka typu V na bázi skleněné rohože [5]

1.2.2.4 Nosná vložka typu AI

Jedná se o kombinaci vložek typu P,G nebo V s hliníkovou fólií (AL). Použití vložek s hliníkovou fólií je nejčastěji do asfaltových pásů s požadavkem na vysokou odolnost proti propustnosti plynů a vodních par (např. protiradonová izolace). Tloušťka hliníkové fólie bývá nejčastěji 0,09 mikrometrů a pro výrobu pásů s hliníkovou vložkou se používá speciálně upravená asfaltová směs, která zajišťuje přídržnost asfaltu k hliníkové fólii. Na Obrázku č. 7 lze vidět ukázkou tohoto typu nosné vložky s hliníkovou fólií. [5][15]



Obr. č. 7: Nosná vložka na bázi skleněné rohože s hliníkovou fólií [5]

1.2.2.5 Nosná vložka typu H

Nosná vložka na bázi strojní hadrové lepenky (H) je velmi nasáková a dosahuje velmi nízkých pevností. Používá se výhradně na výrobu lehkých asfaltových hydroizolačních pásů. [15]

1.2.2.6 Speciální nosné vložky

Vložky se zvláštními funkčními vlastnostmi jsou určeny pro speciální aplikace jako např. proti prorůstání kořenů (pro aplikace ve vegetačních skladbách střech), s retardéry hoření apod. Odolnosti proti těmto různým vlivům se dosahuje přidávkem speciálních aditiv jednak do vložky samotné tak i do asfaltové směsi. [5][15]

1.2.3 Asfaltová povlaková vrstva

Asfaltová povlaková vrstva je několik milimetrů tlustá asfaltová vrstvá z oxidovaných a nebo z modifikovaných asfaltů, které obsahují kamenné moučky, případně popílký k jejich ztužení. Tato vrstva se nanáší na nosné vložky. Slouží k zajištění vodotěsnost hydroizolační vrstvy a omezuje propustnost pro plyny. [5][31]

1.2.3.1 Pojiva

Pro účely výroby povlakových hmot se jako pojiva využívá asfaltu, který bývá průmyslově vyráběn dvoufázovou rafinací ropy. Ropa je nejprve atmosféricky a poté vakuově destilována až vznikne vakuový zbytek s obsahem surového ropného asfaltu nazývaný také jako primární asfalt. Volby typu a složení asfaltové povlakové vrstvy má vliv na trvanlivost zabudovaných výrobků. [7]

1.2.3.1.1 Oxidovaný asfalt (OX)

Vyrábí se oxidační dehydrogenací vakuových zbytků nebo jejich směsí s vakuovými destiláty za teploty 220–280°C. OX mají velmi nízkou tepelnou odolnost – při teplotách na 70 °C měkne a naopak při teplotách v rozmezí 0 až 4 °C se stává velmi křehký. Vyznačuje se i nízkou tažností mezi 2–7 %. Povlaková hmota ze samotného OX asfaltu se z důvodu teplotního omezení využívá zejména na méně namáhané a náročné aplikace např. jako podkladní popř. mezivrstva pro vícevrstvé systémy hydroizolací. [5][7][14]

1.2.3.1.2 Modifikovaný asfalt

Pro zlepšení vlastností oxidovaných asfaltů se provádí modifikace zušlechťujícími látkami tzv. termoplastické elastomery. Vlastnosti modifikovaných pásů závisí na stupni a typu modifikace.

- **Asfaltová modifikace APP** je modifikace na bázi ataktického polypropylenu a má charakter olejové emulze. Vyznačují se vysokou teplotní stálostí a odolností vůči UV záření. Negativním jevem bývá při použití těchto asfaltů při výrobě asfaltových izolačních pásů tzv. zaolejování spojů, při němž se s přibývajícím roky postupně vysráží olej na povrchu asfaltu, což má za následek až 80% pokles pevností svařených spojů. Obecně jsou ve většině aplikací nejvhodnější variantou pro hydroizolaci střech s vyšším spádem. [5][7][14]

- **Asfaltová modifikace SBS** je modifikace na bázi termoplastického kaučuku styren-butadien-styren. Vyznačuje se dobrou odolností v mrazu a velmi dobrou elasticitou např. po perforaci mají snahu otvory minimalizovat. Nevýhodou je jejich nízká odolnost vůči UV, což se řeší opatřením povlakové vrstvy z tohoto asfaltu povrchovou úpravou. Využití našly v běžných izolacích plochých střech, spodních staveb nebo třeba ve výrobě lepicích hmot pro samolepicí asfaltové hydroizolační pásy. [5][7][14]

Na Obrázku č. 8 lze vidět APP a SBS modifikátor a v Tabulce č. 3 obecné porovnání modifikovaných asfaltů APP, SBS a oxidovaného (OX) asfaltu. [5][7]

Obecným předpokladem je, že nechráněná asfaltová povlaková hmota není obvykle dlouhodobě odolná vůči působení UV záření, povrchy vystavené povětrnosti musí být vhodně chráněny. Za vhodnou ochranu se považuje hrubozrný minerální posyp. Některé speciální asfaltové hmoty nevyžadují povrchovou ochranu – při použití těchto pásů jako vrchní vrstvy je dle ČSN EN 13707 nutno doplnit zkoušky umělého stárnutí při dlouhodobé kombinaci UV záření, zvýšené teploty a vody. [5][15]



Obruč. 8: Modifikátory APP (vlevo) a SBS (vpravo) [5]

Tab. č. 3: Obecné porovnání asfaltových pásů s různým typem asfaltové povlakové vrstvy [5]

Vlastnost	Typ asfaltové povlakové hmoty		
	SBS	APP	OX
Trvanlivost	1	1	3
Odolnost UV záření		1	
Odolnost proti tvorbě prasklin	1	1	3
Odolnost za vyšších teplot (odolnost proti stékání)	2	1	3
Aplikace při nižších teplotách	1	2	2
Pevnost ve spojích	1	2	2

Legenda: 1 - velmi dobré, 2 - dobré, 3 - dostatečné, - neplní

1.2.3.2 Plniva

Plniva se přidávají do asfaltů za účelem zlepšení některých vlastností – zvyšují bod měknutí asfaltu, zvyšují jeho odolnost proti stékání, čímž umožňují nanášení relativně silných vrstev na nosnou vložku. Celkově tak zajišťují zlepšení procesu výroby, skladování a zpracovatelnost výsledného produktu. Obvykle se využívají jemnozrnné materiály jako jsou rozemletý břidlice, rozemletý vápenec, čedičová nebo kamenná moučka nebo elektrárenský popílek – poměrové množství mezi plnivem a asfaltovou hmotou ani typ plniv se však běžně veřejně neuvádí, to bývá součástí tzv. firemního „know-how“. [5][6]

1.2.3.2.1 Elektrárenský popílek jako plnivo do asfaltové směsi

Mnoho studií dokazuje vysokou perspektivu elektrárenského popílku jako plniva do asfaltových směsí. Kupříkladu nahrazení vápence popílkem nejenže umožňuje šetření přírodních zdrojů využíváním vedlejšího produktu energetického průmyslu, ale ten ještě zvyšuje odolnost tak, že dochází k nižším deformacím výsledného produktu. Navíc bylo dokázáno, že nahrazení pouhých 4 % běžně přidávaného filetu, jako je například hydratované vápno, v husté asfaltové kaši může přinést až 7,5% snížení optimální dávky asfaltu, což znamená značnou úlevu pro asfaltové hospodářství. [17]

Využitím popílku v asfaltových směsí pro výrobu asfaltových pásů se zabývala i tato bakalářská práce, kde bylo konstatováno, že by dle standardizovaného postupu nemělo množství plniva v asfaltové směsi přesáhnout 30 %. Nyní je však známo, že popílek může sloužit nejen jako plnivo, ale také částečná náhrada asfaltu. Teoreticky by tak mělo být možné toto množství ještě navýšit. Řešení problematiky přidávání plniv ve formě popílků do asfaltové hmoty pro výrobu asfaltové povlakové vrstvy asfaltových pásů je předmětem praktické části této diplomové práce. [3][18]

1.3 Technologie výroby asfaltových izolačních pásů

Výroba je dnes plně automatizovaná a skládá se z následujících technologických kroků:

- Namísení asfaltové směsi
- Homogenizace směsi
- Nanesení směsi na nosnou vložku
- Nanesení separace proti slepení v rolích
- Chlazení

- Balení

1.3.1 Namísení asfaltové směsi

1.3.1.1 Oxidované asfaltové pásy

Základní složkou je vysoce oxidovaný asfalt zpravidla označován 95/35, přičemž hodnota před lomítkem značí teplotu bodu měknutí asfaltu a hodnota za lomítkem hodnotu penetrace jehlou při 25 °C. Dále se přidávají plniva jako mletý vápenec, mletá břidlice nebo popílek. Do roku 1990 se v České republice takřka jiný druh nevyráběl. Jedná se o nejlevnější alternativu asfaltových izolačních pásů. [6]

1.3.1.2 Asfaltové pásy modifikované elastomerem SBS

Základní složkou jsou tzv. měkké asfalty, ke kterým se přidává modifikátor – radiální kaučuk SBS. Využívá se typ asfaltu 160/220, přičemž hodnoty znamenají povolený rozsah penetrace. Jako plnivo se nejčastěji využívá břidličná nebo vápenná moučka. Stupeň modifikace lze zjistit dle teploty, při níž lze pás bez viditelného prasknutí ohnout přes válec o průměru 30 mm o 180 ° - upravená modifikace je -15 °C a plná modifikace je -25°C (aplikace pásů s modifikací až -35°C je v našich klimatických podmínkách zcela zbytečná).[6]

1.3.1.3 Asfaltové pásy modifikované plastomerem APP

U tohoto typu pásů se namísto SBS modifikátoru u asfaltových pásů modifikovaných elastomerem SBS využívá kombinace několika APP modifikátorů. Ohyb pásů je výrobcem garantován v rozmezí teplot pouze -5 °C až -15°C. Ovšem dále mají pásy garantovanou vynikající tepelnou stálost až do 130 °C. [6]

1.3.2 Homogenizace asfaltové směsi

Jedná se o velmi důležitou etapu výroby – zejména u modifikovaných asfaltů je více než žádoucí, rovnoměrné rozptýlení a rozpuštění modifikátoru v základním asfaltu. To, se zjišťuje fluorescenčním mikroskopem. Stejně tomu je u plniv, jejichž nepravidelné rozptýlení by mělo za následky různé mechanické vlastnosti pásu. Model míchacího zařízení lze vidět na Obrázku č. 9. [6]



Obr. č. 9: Míchací zařízení pro homogenizaci asfaltové směsi o výkonu 30 ot./min.

1.3.3 Nanesení asfaltové směsi na nosnou vložku

Zejména dříve se pásy vyráběly průchodem napenetrované vložky vanou s asfaltovou směsí, čímž se asfaltová směs nanasla na vložku a následným průchodem přes tloušťkovací válec se docílilo požadované tloušťky.

Modernější způsob spočívá ve stříkání asfaltové směsi na nosnou vložku při jejím průchodu zařízením. Následně se vložka o 180 ° otočí průchodem přes válce a asfaltová směs se stříká i na druhou stranu. Výhodou této metody je možnost nanášení různých asfaltových směsí na každou stranu pásu a také možnost nanášení za nižších teplot.

Teplota směsi u obou variant se při nanášení pohybuje okolo 150 °C a výše. Model výrobní linky pro výrobu asfaltových pásů a její detaily je možné vidět na Obrázcích č. 10, č. 11 a č. 12. [6]



Obr. č. 10: Výrobní linka pro výrobu asfaltových pásů – odvíjení nosné vložky z role, kompenzátor, nanášecí linka



Obr. č. 11: Výrobní linky pro výrobu asfaltových pásů – vana pro nanášení asfaltové povlakové vrstvy s nanášecími válci



Obr. č. 12: Výroba asfaltového pásu – nanášení asfaltové povlakové vrstvy na nosnou vložku ve vaně za pomoci s nanášecích válců

1.3.4 Nanesení separace proti slepení v rolích

Ihned po nanesení asfaltové směsi na nosnou vložku a vymezení tloušťky válcem, dokud je pás ještě teplý, aby separace přilnula k pásu, se na horní stranu pásu nanáší hrubozrnný nebo jemnozrnný posyp v závislosti na účelu využití pásu. Ze spodní strany se zpravidla nanáší separační polyetylenová fólie. Nicméně je také možnost využít pískový posyp, snímací fólii nebo polypropylenovou fólii. Detail nanášení pískového posypu na asfaltový pás lze vidět na Obrázku č. 13. [6]



Obr. č. 13: Výroba asfaltového pásu – nanášení minerálního posypu

1.3.5 Chlazení

Chlazení probíhá již od výstupu pásu z nanášecí vany, jednak okolním prostředím a především pak technologicky je prováděno průchodem sérií vnitřně vodou chlazených válců,

jejichž účelem je také zatlačování posypu do teplého asfaltu. Na konci linky je pás ochlazený na teplotu přibližně 25 °C. Sérii chladicích válců za sebou lze vidět na Obrázku č. 14. [6]



Obr. č. 14: Soustava chladicích válců výrobní linky pro výrobu asfaltových pásů

1.3.6 Balení

Přes kompenzátor pás prochází do baličky a sekačky (děkovačky). Tenké pásy se stáčí do rolí o délce 10 m, přičemž pásy o tloušťce 4 mm a více se stáčí do rolí o délkách 5 nebo 7,5 m.

Po stočení se pásy ovinou papírem, samolepicími páskami, nejčastěji však fólií, která se horkých vzduchem přitaví okolo celé role. Role se dále opatří identifikačními údaji, uloží na paletu a uskladní. Pásy je nutno skladovat pouze v zastřešených prostorách, aby nedocházelo k jejich zbytečnému stárnutí působením UV záření. [6]

1.4 Zkoušení vlastností asfaltových izolačních pásů

Požadavky na asfaltové pásy záleží především na účelu využití těchto pásů – zda jsou určeny jako podkladní vrstva, popř. mezivrstva, horní vrstva ve vícevrstvých systémech anebo se jedná o jednovrstvý systém. Základní zkoušky asfaltových pásů jsou uvedeny v Tabulce č. 4.

Tab.č.4: Základní asfaltové pásy asfaltových pásů

Název zkoušky	Příslušná norma
Stanovení zjevných vad	ČSN EN 1850-1 Hydroizolační pásy a fólie – Stanovení zjevných vad – Část 1: Asfaltové pásy pro hydroizolaci střech [19]
Stanovení vodotěsnosti	ČSN EN 1928 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení vodotěsnosti [20]
Stanovení propustnosti vodních par	ČSN EN 1931 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení propustnosti vodní páry. [21]

Stanovení tahových vlastností	ČSN EN 12311-1 Hydroizolační pásy a fólie – Část 1: Asfaltové pásy pro hydroizolace střech – Stanovení tahových vlastností [22]
Stanovení odolnosti proti nárazu	ČSN EN 12 691 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení odolnosti proti nárazu [23]
Stanovení odolnosti proti statickému zatížení	ČSN EN 12 370 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení odolnosti proti statickému zatížení [24]
Stanovení ohebnosti za nízkých teplot	ČSN EN 1109 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení ohebnosti za nízkých teplot [25]
Stanovení odolnosti proti stékání při zvýšené teplotě	ČSN EN 1110 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení odolnosti proti stékání při zvýšené teplotě [26]
Stanovení přilnavosti posypu	ČSN EN 12039 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení přilnavosti posypu [27]
Zkouška umělého stárnutí	ČSN EN 1296 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Metoda umělého stárnutí při dlouhodobém vystavení zvýšené teplotě [28]

2 Asfaltová povlaková vrstva pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů

Asfaltová povlaková vrstva je tvořena směsí asfaltů s obsahem kamenné moučky a nebo popílků. Vzhledem k tématu této DP, je dále pozornost věnována především problematice asfalto-popílkových směsí, odborně nazývaných mastix. Jsou zde detailně rozebrány jednotlivé složky směsí pro výrobu asfaltové povlakové vrstvy z hlediska jejich složení, vlastností a požadavků vyplývajících z norem včetně informací o recepturách.

2.1 Asfalty

Asfalty mají ve směsi pojivou funkci. Při výrobě asfaltové směsi pro výrobu oxidovaných asfaltových pásů se využívá kombinace asfaltů oxidovaných a modifikovaných. Samotné asfalty oxidované mají velmi nízkou teplotní odolnost, proto se do směsi přidává alespoň malé množství asfaltů modifikovaných polymery, aby se tato odolnost směsi zvýšila. Obsah modifikovaných asfaltů v celé směsi je poměrně malý neboť jejich cena je výrazně vyšší než cena asfaltů oxidovaných, což by při vysokém obsahu tohoto typu asfaltu ve směsi mělo za následek výrazné zvýšení ceny daného typu asfaltových pásů.

2.1.1 Asfalty oxidované stavebně – izolační (AOSI)

Specifikace požadavků na oxidované asfalty uvádí norma *ČSN EN 13304 Asfalty a asfaltová pojiva – Systém specifikace pro oxidované asfalty*.

Oxidované asfalty jsou označovány střední hodnotou bodu měknutí metody kroužek a kulička a penetrace při 25 °C postupně násobky 5. Typické druhy oxidovaných asfaltů jsou 85/25, 85/40, 95/25, 95/35, 100/40, 105/35, 110/30 a 115/15. Mezi základní prováděné zkoušky patří stanovení bodu měknutí metodou kroužek a kulička, které se u oxidovaných asfaltů provádí v glycerinu, neboť typické hodnoty jsou nad 80 °C. Dále se provádí stanovení penetrace jehlou při 25 °C, rozpustnost v toluenu, ztráta zahříváním a bod vzplanutí. Další zkoušky nejsou vyžadovány, záleží tedy na dohodě mezi dodavatelem a zákazníkem. [29]

2.1.2 Silniční asfalty (ASF)

Konkrétní požadavky na silniční asfalty specifikuje norma *ČSN EN 12591 Asfalty a asfaltová pojiva – Specifikace pro silniční asfalty* v tabulkách 1A, 1B, 2A, 2B a 3A, 3B.

Jednotlivé druhy silničních asfaltů se označují podle jmenovitého rozmezí penetrace nebo viskozity – takže například asfalt ASF 160/220 má hodnotu penetrace při 25 °C 160 do 220 x 0,1 mm. Mezi základní prováděné zkoušky patří stanovení penetrace jehlou, stanovení bodu měknutí metodou kroužku a kuličky a odolnost proti stárnutí při 163 °C (RTFOT). Dále se provádí zkoušky změny hmotnosti, zbylé penetrace, zvýšení bodu měknutí, bod vzplanutí, rozpustnost a bod lámavosti podle Fraasse. [30]

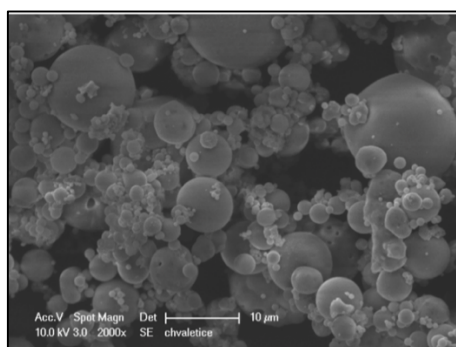
2.2 Elektrárenské popílky

Popílky se do asfaltových směsí přidávají jako plnivová složka. Vedle zlepšení vlastností výsledné směsi také snižují výslednou cenu hmoty. Konkrétní požadavky uvádí norma ČSN 2072-10 Popílek pro stavební účely-Část 10: Popílek pro asfaltové výrobky.

2.2.1 Vysokoteplotní popílky (VP)

Vysokoteplotní popílky, jak už název napovídá, vznikají při vyšších teplotách, tedy okolo 1300 °C, při spalování tuhých paliv. Takto vysoké teploty způsobují, že mají částice kulovitý a uzavřený povrch. To je způsobeno tím, že slinutý povrch, vytvořený natavením hmoty oxidy železa, zabraňuje úniku nadýmajících plynů oxidů uhlíku ven ze struktury. Ukázkou struktury

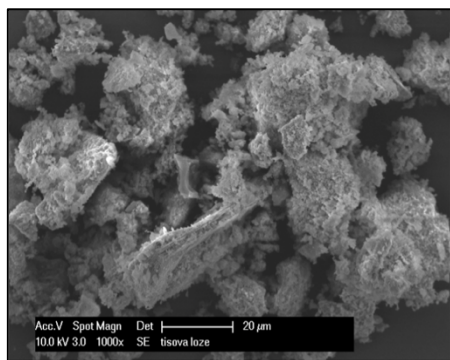
těchto popílků lze vidět na Obrázku č. 15. Jsou tvořeny především oxidem křemičitým (SiO_2), oxidem hlinitým (Al_2O_3) a oxidem železitým (Fe_2O_3). Vykazují pucolánovou aktivitu, což znamená, že po smísení s hydroxidem vápenatým reagují a vytváří obdobné hydratační produkty jako při reakci samotného cementu s vodou. Popílký ze spalování černého uhlí obsahují oproti těm z hnědého uhlí méně CaO a síranů a naopak více SiO_2 , a tedy jsou vhodnější jako náhrada cementu do betonu díky vyšší reaktivnosti. V České republice (CR) se však černé uhlí spaluje ve velmi malém množství. [18]



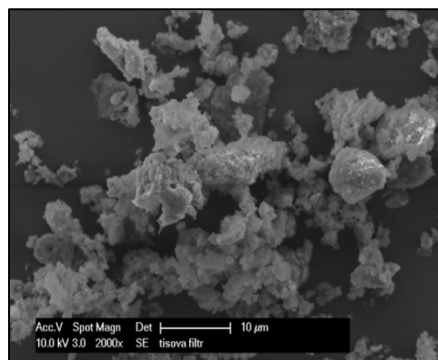
Obr. č. 15: Snímek mikrostruktury vysokoteplotního popílku (KPCHVAL), zvětšení 2000x [18]

2.2.2 Fluidní popílek a popel (FP)

Fluidní popílký vznikají při spalování velmi jemně mletého tuhého paliva s příměsí jemně mletého vápence ve fluidním loži při teplotě okolo 850 °C. Velmi jemný prášek vytváří s horkým vzduchem aerosol, který je daleko efektivněji spalován než při využití spalování vysokoteplotního. Část částic unášených komínovými spalinami je zachycována v elektrostatických odlučovačích. Nízká teplota spalování má však za následek zvýšenou pórovitost částic převážně kulovitěho tvaru z důvodu nemožnosti dostatečného slinutí povrchu. Ukázku struktury takovýchto popílků lze vidět na Obrázcích č. 16. a č. 17. Fluidní popílký vykazují latentně-hydraulické vlastnosti, což má za následek, že při kontaktu s vodou samy pozvolna tuhnou a tvrdnou. Latentně hydraulické vlastnosti těchto popílků způsobuje především přítomnost anhydritu (CaSO_4) a volného CaO, které je při nízké teplotě spalování měkce pálené, a tudíž velmi reaktivní. Na rozdíl od vysokoteplotních popílků tedy fluidní popílký obsahují vyšší podíly volného CaO. [18]



Obr. č. 16: Snímek mikrostruktury fluidního ložového popela (FLP-TIS), zv. 1000x [18]



Obr. č. 17: Snímek mikrostruktury fluidního filtrového popela (FFP-TIS), zv. 2000x [18]

2.2.3 Vlastnosti popílků

2.2.3.1 Fyzikální vlastnosti popílků

Granulometrie popílků přímo závisí na jemnosti mletí paliva a dále pak na rychlosti tvorby cenosfér a obsahu nespalitelných zbytků. Charakteristická velikost částic se obecně pohybuje v rozmezí 0,1 – 100 µm, přičemž cenosféry a nespalitelné zbytky bývají o velikostech 10–300 µm. Měrný povrch popílků opět úzce souvisí s jemností mletí paliva. Jeho hodnota roste úměrně s růstem podílu nespalitelných složek v popílku a pohybuje se obvykle v rozmezí 2000–3000 cm²·g⁻¹. [18]

2.2.3.2 Chemické a mineralogické vlastnosti

Chemické i mineralogické složení popílků závisí především na množství a druhu přirozených sloučenin obsažených v uhlí a dále na stupni jejich přeměny v průběhu spalování. Mezi hlavní skupiny minerálů tvořící popílků patří aluminosilikáty a silikáty, minerály železa jako FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄ až po elementární Fe, karbonátové sloučeniny jako např. kalcit CaCO₃ a siderit FeCO₃, akcesorické minerály – křemen a cristobalit SiO₂, skelná fáze a dále zbytky nespáleného uhlí. Černouhelný popílek je tvořen především minerály křemene, mullitu, hematitu, rutilu, anatasu, cristobalitu a uhlíku. Hnědouhelný popílek naopak obsahuje vyšší množství nedopalu. Chemické látky obsažené v uhlí, vyjma spalitelných látek, tvoří složení i výsledných popílků. Chemické složení popílků v závislosti na typu paliva a technologií spalování uvádí Tabulka č. 5, Tabulka č. 6 a Tabulka č. 7. [18]

Tab. č. 5: Průměrné chemického složení popílků produkovaných v ČR [18]

Obsah jednotlivých oxidů [%]									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Nedopal
45-55	15-30	5-20	1,5	1-5	1-3	1	0,5	0,5-2	1-10

Tab. č. 6: Průměrné chemické složení popílků v závislosti na typu paliva [18]

Druh uhlí	Obsah jednotlivých oxidů [%]								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
Černé	50-57	25-30	3,5-8,0	0-1	2-4	1,5-3,0	2,5-5,0	0,2-2,0	0,5-1,2
Hnědé	43-60	19-34	3,0-6,0	1-7	4-6	0-2	0-2	0,5-1,0	0-5

Tab. č. 7: Průměrné chemické složení popílků v závislosti na typu spalování [18]

Typ Spalování	Obsah jednotlivých oxidů [%]										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	volné CaO	MgO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	ZŽ
Klasické	52,22	28,01	3,09	-	1,38	2,37	9,66	0,6	0,51	1,59	5,9
Fluidní	42,34	19,44	18,21	2,58	2,49	1,55	5,79	5,26	0,37	1,41	10,7

1.1.1.1 Požadavky na chemické a fyzikální vlastnosti popílků pro asfaltové výrobky (dle ČSN 72 2072-10)

Česká technická norma ČSN 72 2071-10 uvádí konkrétní požadavky na chemické a fyzikální vlastností popílků určených pro výrobu asfaltových výrobků. Tyto požadavky jsou uvedeny v Tabulce č. 8.

Tab. č. 8: Požadavky na chemické a fyzikální vlastnosti popílků pro asfaltové výrobky [31]

Vlastnost	Maximální hodnota		Četnost zkoušení
	Minimální hodnota	Maximální hodnota	
Ztráta sušením (% hmotnosti)	-	0,35 ¹⁾	1/týden
Obsah celkové síry jako SO ₃ (% hmotnosti)	-	1 ¹⁾	1/týden
pH výluhu	5 ¹⁾	-	1/týden
RTG difrakční analýza (% hmotnosti) - obsah křemene skelné fáze	Podle výsledku stanovení RTG - difrakční analýzy se upřesní obsah křemene		1/čtvrt rok
Sítový rozbor	Plynulá čára zrnitosti pod síto 0,09 mm ²⁾		1/měsíc
Měrný povrch metodou BET frakce menší než 4 mm	100 ¹⁾	-	1/měsíc
¹⁾ Limitní hodnoty		²⁾ Směrné hodnoty	

1.1.1 Proces denitrifikace

Výsledkem dlouholetých výzkumů škodlivosti oxidů dusíku je proces denitrifikace, který buďto katalyticky nebo nekatalyticky zbavuje spaliny těchto oxidů. Zásadní změna pak nastala přijmutím legislativního opatření - Vyhláška Ministerstva životního prostředí ČR č. 415/2012 Sb. o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. Vyhláška zpracovává příslušné předpisy Evropské unie týkající se snížení emisních limitů podle které od 1. 1. 2016 a dále pak opatření platné od 1. 1. 2020 týkající se zdrojů s výjimkou. Na základě tohoto opatření, stávající elektrárny a jiná zařízení produkující oxidy dusíky ve spalinách, začaly provádět opatření ve formě denitrifikačních zařízení. Vzhledem k tomu, že primární opatření vyžadují takřka zcela nové zbudování výrobního procesu, využívají elektrárny a jiné produkce spíše opatření sekundární, a sice instalaci denitrifikačních technologií, u kterých rozlišujeme dva druhy.

Prvním druhem je technologie Katalytické selektivní redukce (SCR), která využívá k odstranění oxidů dusíku vodný roztok amoniaku a katalyzátor. Druhým typem je technologie Nekatalytické selektivní redukce (SNCR), která využívá k odstranění oxidů dusíku vodný roztok či častěji močovinu.

Technologie SCR je výrazně účinnější – obsah oxidů dusíku po vyčištění je pouhých 70 mg·Nm⁻³, kde naopak při použití technologie SNCR je obsah 100 mg·Nm⁻³ za použití vodného roztoku a 200 mg·Nm⁻³ za použití močoviny, nicméně s jejím pořízením se pojí výrazně vyšší investiční náklady – pořizovací náklady na technologické zařízení SCR je okolo 2 500 000 EUR a

pořizovací náklady na technologické zařízení SNCR za použití vodného roztoku je okolo 500 000 EUR a za použití močoviny je okolo 200 000 EUR. Z tohoto důvodu jsou v České republice převážně instalována denitrifikační zařízení technologie SNCR využívající močovinu. Bohužel však technologie SNCR využívající močovinu, nejenže má nižší účinnost, ale také obsah močoviny přechází do struktury odpadních produktů těchto procesů, což má negativní dopad na jejich další využití jako sekundárních surovin. Vlivem obsahu amoniaku v produktech denitrifikace (popílků) na jejich využití ve výrobě asfaltových izolačních pásů se zabývá praktická část této DP. [18]

2.3 Receptura pro zhotovení mastixů pro výrobu OAIP

Informace o recepturách podléhají výrobnímu tajemství. Nebylo možné vyhledat příklady využívaných receptur ve veřejných zdrojích. Dle údajů české standardizace by však podíl plniv neměl překročit 30 % hmotnostních. [6]

Cíl práce

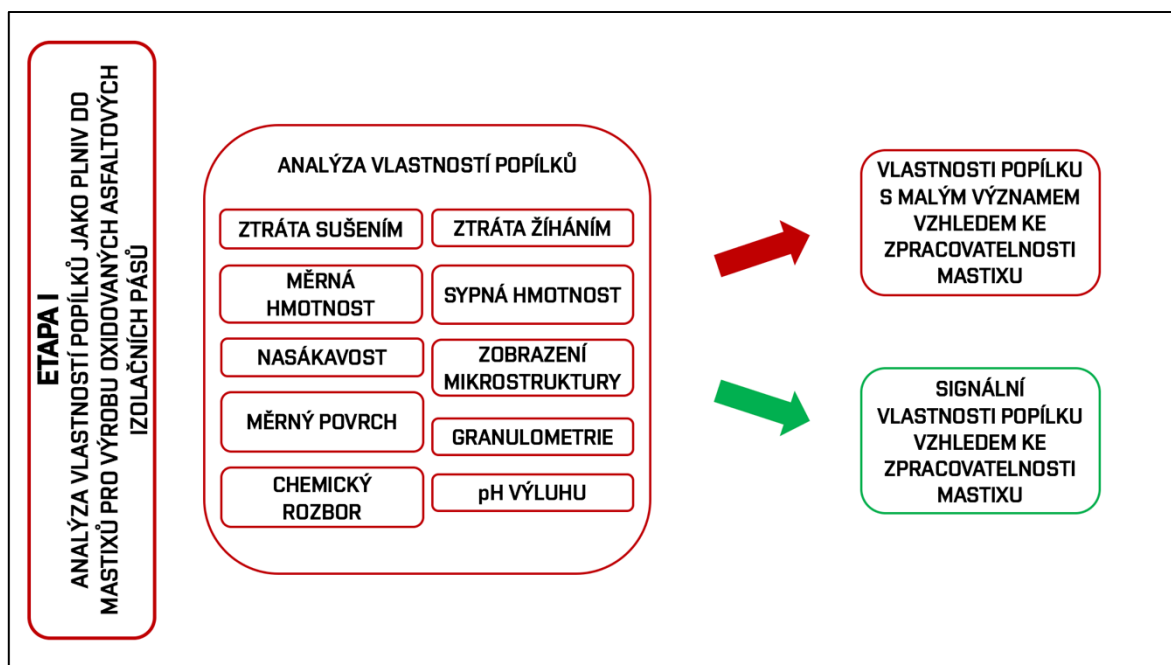
Cílem diplomové práce je ověřit možnosti využití různých druhů elektrárenských popílků jako plniva do asfaltových směsí pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů. Hlavní důraz byl kladen na přezkoumání vlivu jednotlivých vlastností popílků na výsledné reologické chování směsi asfaltového pojiva a elektrárenského popílku, která je odborně nazývána mastix. Zvolenou charakteristikou výsledného reologického chování mastixů byla definována zpracovatelnost. Součástí řešení zadaného úkolu je i navrhnout metodiku zkoušení odpovídající kvantifikační veličiny pro posouzení zpracovatelnosti mastixů. Snahou je také prověřit vliv druhu a množství denitrifikovaných popílků, u kterých se předpokládá, že jejich vlastnosti mohou být příčinou náhlých změn zpracovatelnosti mastixů.

B. Praktická část

Praktická část diplomové práce popisuje praktické provedení výzkumu. Zaměřuje se na detailní popis provedených měření a hodnocení jejich výsledků, stejně jako možnost jejich dalšího využití.

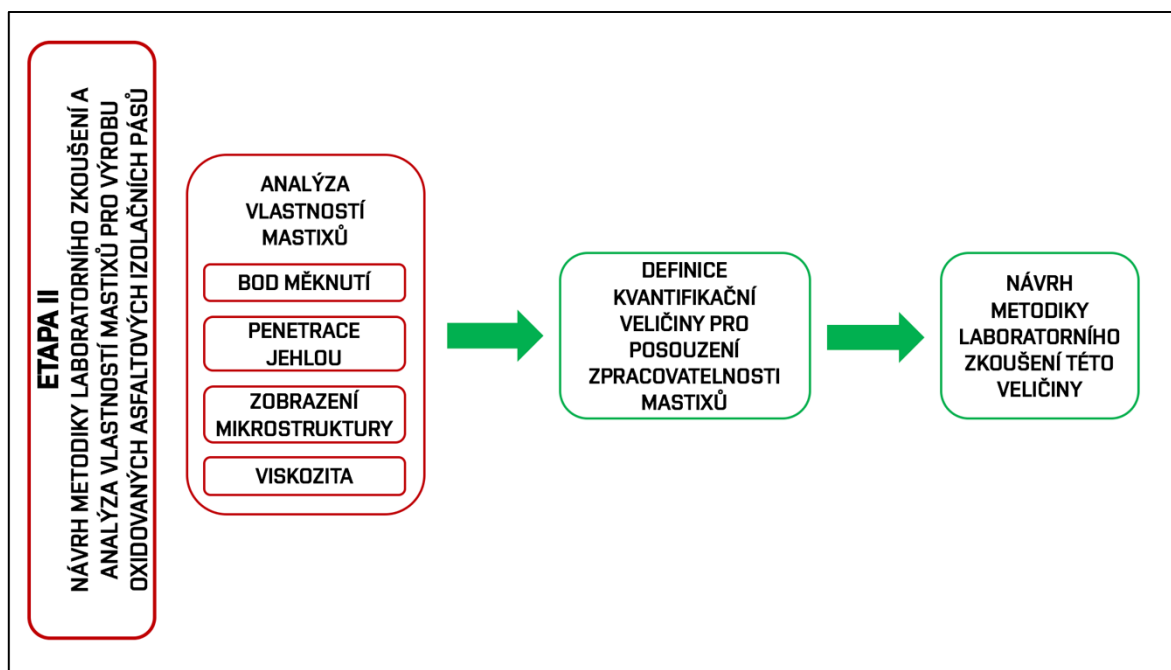
Metodika práce

Etapa I: Analýza vlastností popílků jako plniv do mastixů pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů



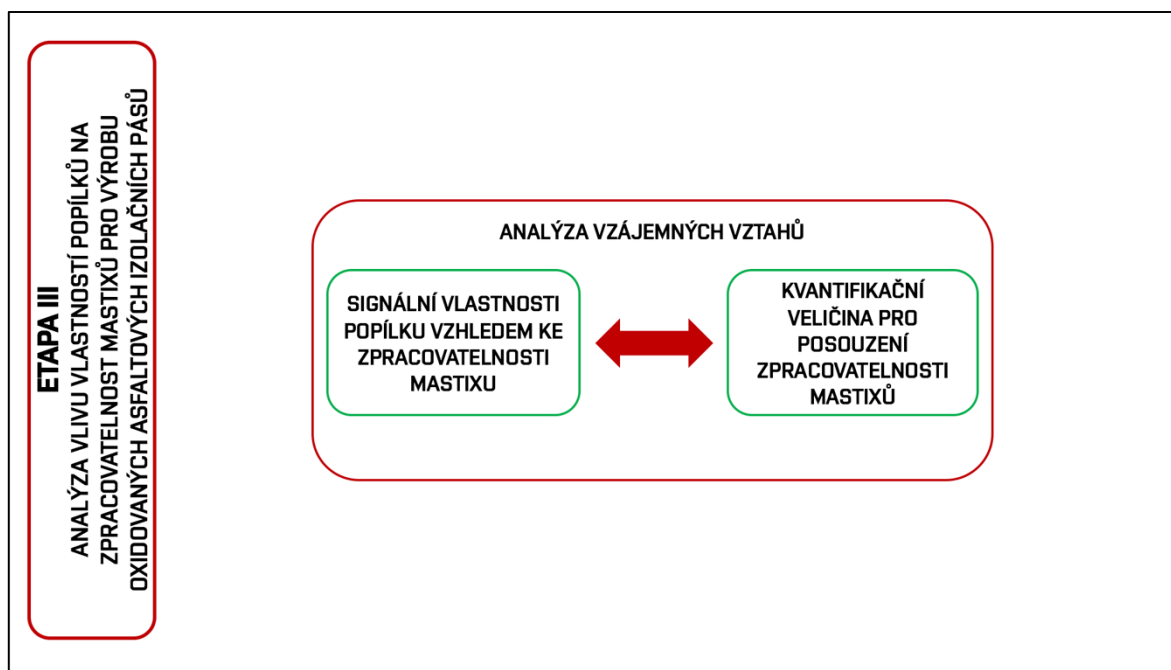
První etapa je věnována analýze vlastností vybraných druhů popílků určených k použití jako plniva do mastixů pro výrobu oxidovaných asfaltových pásů (OAIP). Zjištěné hodnoty jednotlivých veličin jsou hodnoceny na základě normových a technologických požadavků konkrétního výrobního závodu oxidovaných asfaltových izolačních pásů (OAIP). Cílem je odhalit signální vlastnosti popílků, které se jeví jako řídicí parametry zpracovatelnosti za předpokládaných koncentrací. Předpokládá se, že tyto vlastnosti budou projevovat výrazné odchylky hodnot při analýze vlastností popílků A.

Etapa II: Návrh metodiky laboratorního zkoušení a analýza vlastností mastixů pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů



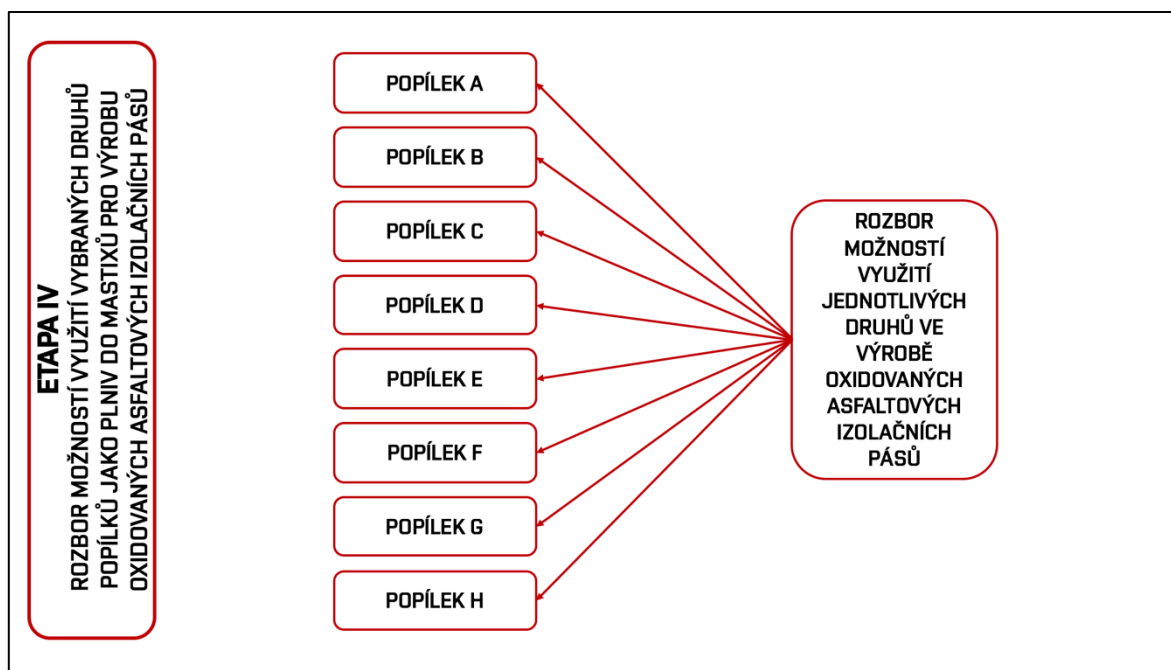
Hlavním cílem druhé etapy je definovat konkrétní kvantifikační veličinu pro posouzení zpracovatelnosti mastixů. Snahou je najít veličinu, která bude spolehlivě umožňovat relevantní srovnání napříč spektrem zhotovených mastixů s ohledem na laboratorně-provozní požadavky z hlediska zpracovatelnosti. Součástí je pak navrhnout metodiku laboratorního zkoušení této kvantifikační veličiny. Dále je provedena analýza vybraných vlastností mastixů pro výrobu OAIP včetně výše definované kvantifikační veličiny. Ověření relevantnosti zvolené veličiny charakterizující zpracovatelnost je provedeno na základě zhodnocení zjištěných hodnot jednotlivých veličin vzhledem k normovým a technologickým požadavkům konkrétního výrobního závodu asfaltových izolačních pásů.

Etapa III: Analýza vlivu vlastností popílků na zpracovatelnost mastixů pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů



Třetí etapa je věnována objasnění vlivu vlastností popílků na výslednou zpracovatelnost mastixů. Jsou zkoumány vztahy vybraných vlastností popílků z Etapy I. a kvantifikační veličiny pro posouzení zpracovatelnosti mastixu definované v Etapě II. Jsou vybrány ty vlastnosti popílků, u kterých se na základě provedené analýzy v Etapě I. usuzuje, že by mohly být řídicím parametrem zpracovatelnosti mastixu. Snahou je rovněž prověřit vliv denitrifikovaných popílků, u kterých se předpokládá, že jejich vlastnosti mohou být příčinou náhlých změn zpracovatelnosti mastixů.

Etapa IV: Rozbor možností využití vybraných druhů popílků jako plniv do mastixů pro výrobu oxidovaných asfaltových pásů



Čtvrtá etapa je věnována rozboru možností využití jednotlivých druhů popílků jako plniva ve výrobě oxidovaných asfaltových izolačních pásů zejména z pohledu zpracovatelnosti. Ta se totiž jeví jako zásadní prvek při řízení výroby, především za podmínek proměnlivosti vstupních surovin. Hodnocení je provedeno na základě výrobních, ekonomických a ekologických požadavků za předpokládaných koncentrací.

3 Popis prováděných zkoušek

3.1.1 Stanovení ztráty sušením

Stanovení ztráty sušením se provádí pro vysokoteplotní popílků dle normy ČSN 72 0102 a pro fluidní popílků dle normy ČSN 72 1206.

Vzorky vysokoteplotních popílků se suší v sušárně při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ a vzorky fluidních popílků při teplotě $45 ^\circ\text{C}$ až $50 ^\circ\text{C}$ do ustálené hmotnosti. Hodnota ztráty sušením se následně zjistí výpočtem na základě zjištěných hmotností vzorku před a po vysušení. [32][33]

3.1.2 Stanovení ztráty žiháním

Stanovení ztráty žiháním se provádí pro vysokoteplotní i fluidní popílků dle normy ČSN 72 0103.

Vzorky vysokoteplotních popílků se žihají v peci při teplotě $(1100 \pm 20) ^\circ\text{C}$ a vzorky fluidní popílků při teplotě $(850 \pm 20) ^\circ\text{C}$ a $(1100 \pm 20) ^\circ\text{C}$ do ustálené hmotnosti. Úbytek hmotnosti následně odpovídá hodnotě ztrátě žiháním. [34]

3.1.3 Stanovení měrné hmotnosti pyknometrickou metodou

Měrná hmotnost se stanovuje pro vysokoteplotní i fluidní popílků pyknometrickou metodou dle dle ČSN EN 1097-6 a ČSN EN 1097-7.

Stanovení se provádí za pomoci pyknometrů a kapaliny o známé měrné hmotnosti. Principem zkoušky je nahrazení určitého množství této kapaliny zkušební navážkou. Měrná hmotnost je následně zjištěna výpočtem. [35][36]

3.1.4 Stanovení měrného povrchu permeabilní metodou (Blaine)

Měrný povrch se stanovuje pro vysokoteplotní i fluidní popílků dle normy ČSN EN 196-6.

Stanovení je provedeno na základě metody pro stanovení jemnosti mletí cementu. Měří se měrný povrch vztažený na hmotnost v porovnání s povrchem kalibračního materiálu. Měrný povrch byl pro účely této DP stanoven za pomoci přístroje PC-Blaine Star značky ZEB – viz. Obrázek č. 18. [37]



Obr. č. 18: Přístroj PC-Blaine Star značky ZEB

3.1.5 Stanovení sypané hmotnosti volně sypané

Stanovení sypané hmotnosti volně sypané (Sypaná hmotnost v.s.) se provádí pro vysokoteplotní popílků dle normy ČSN 72 2071 a pro fluidní popílků dle normy ČSN 72 2080.

Podstatou zkoušky je zjištění hmotnosti popílků v definované objemové jednotce. Nejprve se vzorky vysokoteplotních popílků suší v sušárně při teplotě $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ a vzorky fluidní popílků při teplotě 45°C až 50°C do ustálené hmotnosti. Následně se vzorek popílků volně bez otřesů ocelovou násypkou nasype do nádoby o definovaném objemu. Přebytečné množství vzorku se seřízne ocelovým pravítkem, aniž by se popílek stlačil. Sypaná hmotnost v.s. je vyjádřena jako se rozdíl plné a prázdné nádoby s přesností na 5 kg. [38][39]

3.1.6 Stanovení nasákavosti

Z důvodu absence normového postupu stanovení nasákavosti fileru doposud nebyl stanoven, byla nasákavost vzorků stanovena upraveným postupem pro stanovení nasákavosti kameniva dle ČSN EN 1097-6.

Nasákavost kameniva se stanovuje pro zkušební navážku o minimální hmotnosti 350 g. Popílek se rozmíchá s množstvím vody, které je rovno tří- až pětinasobku množství popílků. Po 30 minutách se roztok přefiltruje přes filtrační papír. Po přefiltrování roztoku se nechá filtrační papír ještě 5 minut v nálevce okapat. Nasákavost je vyjádřena jako se rozdíl hmotností filtračního papíru před a po provedení filtrace. [35]

3.1.7 Stanovení granulometrického složení

K určení granulometrického složení se využívá využitá metoda laserová difrakce. Ke provedení stanovení bylo využito přístroje Mastersizer 2000 značky Malvern Panalytical – viz. Obrázek č. 19. Metoda využívá výpočtu z difrakčních obrazců laserového paprsku – reálné částice jsou převedeny na teoretické sférické částice.



Obr. č. 19: Přístroj Mastersizer 2000 značky Malvern Panalytical

3.1.8 Stanovení chemického složení

Vzhledem k tomu, že se nepřepokládal vliv chemického složení popílků na vlastnosti mastixů, byly stanoveny vlastnosti vždy u jednoho vzorku každého z vybraných druhů popílků. Obsah jednotlivých chemických sloučenin obsažených v popílků se stanovuje pro vysokoteplotní popílků dle normy ČSN 72 2071 a pro fluidní popílků dle ČSN 72 2080. Stanovení bylo provedeno akreditovanou laboratoří ALS Czech Republic, s.r.o. [38][39]

3.1.9 Stanovení pH výluhu

Pro ověření charakteru popílků bylo pH výluhu stanoveno zjednodušenou metodou za pomoci pH metru.

Stanovení se provádí na výluhu o poměru 2 g popílků na 50 ml destilované vody. Po 30 minutách působení se stanoví pH výluhu pomocí pH metru. V rámci výzkumu této DP byl použit pH metr SevenExcellence značky METTLER TOLEDO – viz. Obrázek č. 20.



Obr. č. 20: pH metr SevenExcellence značky METTLER TOLEDO

3.1.10 Stanovení bodu měknutí

Stanovení bodu měknutí mastixů se provádí dle normového postupu uvedeného v ČSN EN 1427.

Podstatou zkoušky je zahřívání dvou asfaltových kotoučků, odlitých v mosazných kroužcích s osazením, řízenou rychlostí v kapalinové lázni, přičemž na každém z nich je umístěna ocelová kulička. Sleduje se teplota, při které kotoučky změknou natolik, že umožní kuličkám, obaleným v asfaltovém pojivu, propadnout o vzdálenost $25 \pm 0,4$ mm. Snímek měřicí aparatury pro stanovení bodu měknutí je vidět na obrázku č.21. [40]



Obr. č. 21: Aparatura pro stanovení bodu měknutí

3.1.11 Stanovení penetrace jehlou

Stanovení penetrace jehlou mastixů se provádí dle normového postupu uvedeného v ČSN EN 1426.

V rámci zkoušky se stanovuje za pomoci penetrometru hloubka průniku normalizované jehly do vytemperovaného analytického vzorku za stanovený čas a normové teploty. Příklad je vidět na Obrázku č. 22. [41]

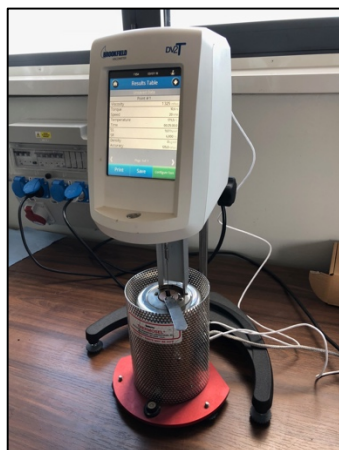


Obr. č. 22: Penetrometr pro stanovení penetrace jehlou

3.1.12 Stanovení dynamické viskozity

Stanovení dynamické viskozity mastixů se provádí dle normy ČSN EN 13302.

Měření se provádí za pomoci rotačního vřetenového viskozimetru, který pomocí válcového či kruhového vřetena vloženého do pojiva, uloženého v proteplované kyvetě, vyvozuje odpor proti otáčení. Snímek rotačního viskozimetru je uveden na Obrázku č. 23. [42]



Obr. č. 23: Rotační viskozimetr DV2T značky BROOKFIELD

3.1.1 Stanovení torzního momentu

Stanovení bylo provedeno pomocí skleněného míchadla upevněného v hřídelové míchačce Heidolph Hei-TORQUE Precision – viz. Obrázek č. 24 a 25. Vzorek byl v průběhu měření zahříván pomocí elektrické plotýnky.



Obr. č. 24: Hřídelová míchačka Heidolph Hei-TORQUE Precision značky VERKON [43]

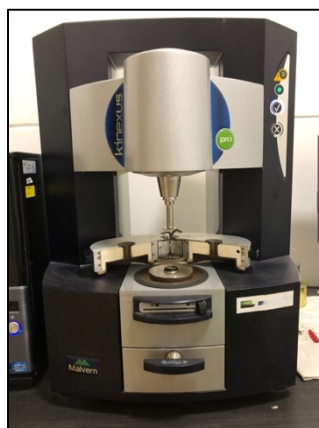


Obr. č. 25: Skleněné míchadlo upevněné v míchačce

3.1.1 Stanovení modulu tuhosti ve smyku a viskozity

Stanovení obou veličin bylo provedeno pomocí dynamického smykového reometru Kinexus pro+ značky Malvern Panalytical.

Stanovení modulu tuhosti ve smyku bylo stanoveno s využitím módu rotačního viskozimetru (deska – kužel). Viskozita byla stanovena v módu deska deska. Měřicí geometrie se skládá z nepohyblivé spodní deska a otočné hlavice. Snímek přístroje je vidět na Obrázku č. 26.



Obr. č. 26: Rotační reometr Kinexus pro+ od společnosti Malvern Panalytical

4 Etapa I: Analýza vlastností popílků jako plniv do mastixů pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů

Pro účely výzkumu bylo vybráno osm druhů elektrárenských popílků (A–H) pocházejících z různých tepelných elektráren na území České a Slovenské republiky. Jeden druh popílku byl zvolen jako referenční z důvodu jeho aktuálního využití ve výrobním závodě, pro který byla tato práce zpracovávána. Jsou zastoupeny druhy popílků pocházející z vysokoteplotního i fluidního spalování. Některé vysokoteplotní popílků pochází z procesů s instalovanou denitrifikační technologií. Jednotlivé druhy popílků byly vybrány na základě dostupnosti a technologických požadavků konkrétního výrobního závodu. V rámci analýzy vlastností popílků bylo provedeno stanovení vlastností 23 vzorků referenčního popílku A a jeden vzorek popílků B, C, D, E, F, G a H. Pro srovnání výsledků jednotlivých druhů mastixů byl reprezentativním vzorkem referenčního popílku zvolen vzorek A9. Popílků jsou označovány tímto způsobem z důvodu citlivosti informací podléhajících obchodnímu tajemství. Klíč k informacím je uložen u zpracovatele této DP a na FAST VUT v Brně.

4.1 Vlastnosti popílků

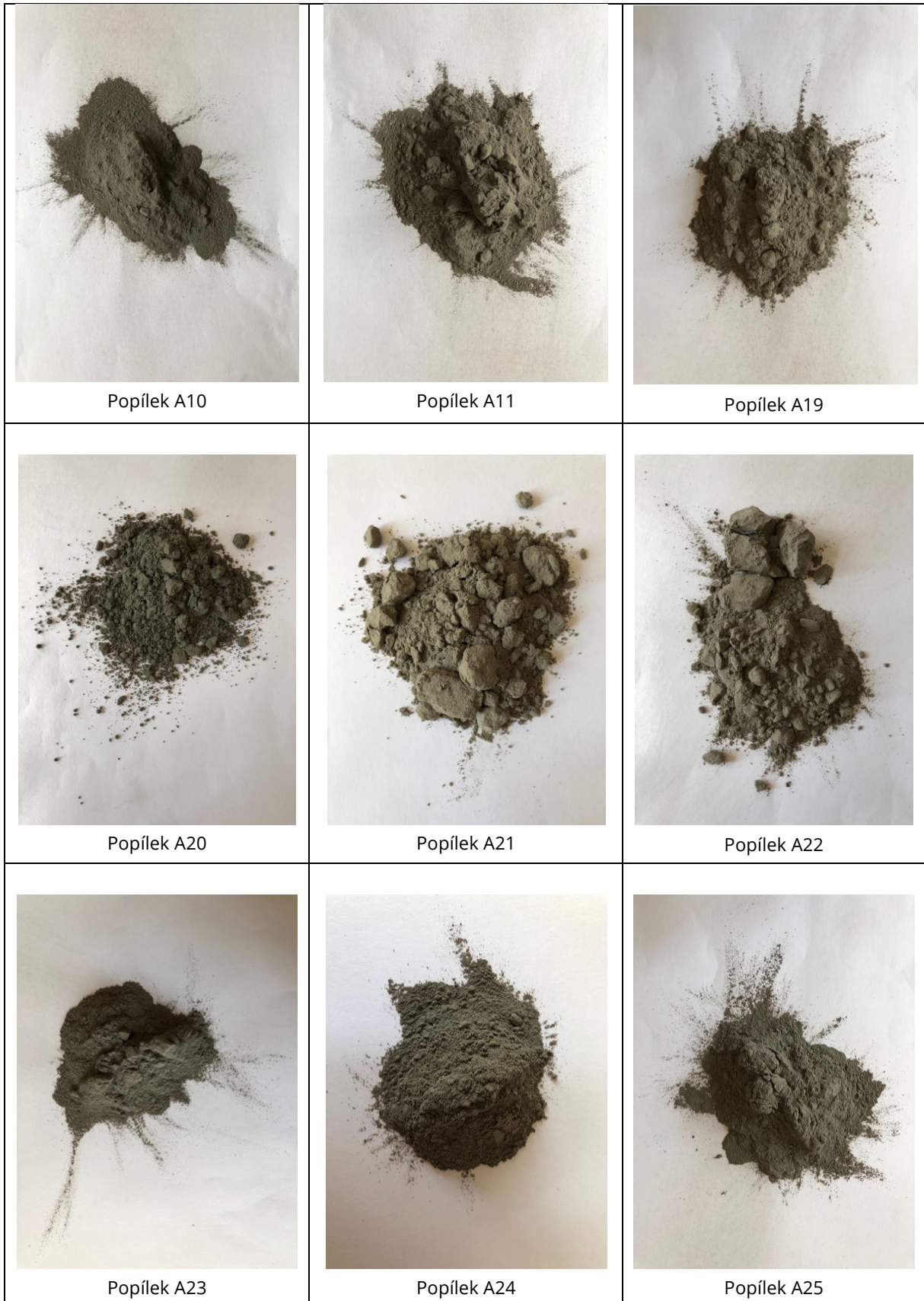
V této podkapitole jsou popsány výsledky provedených měření vlastností popílků

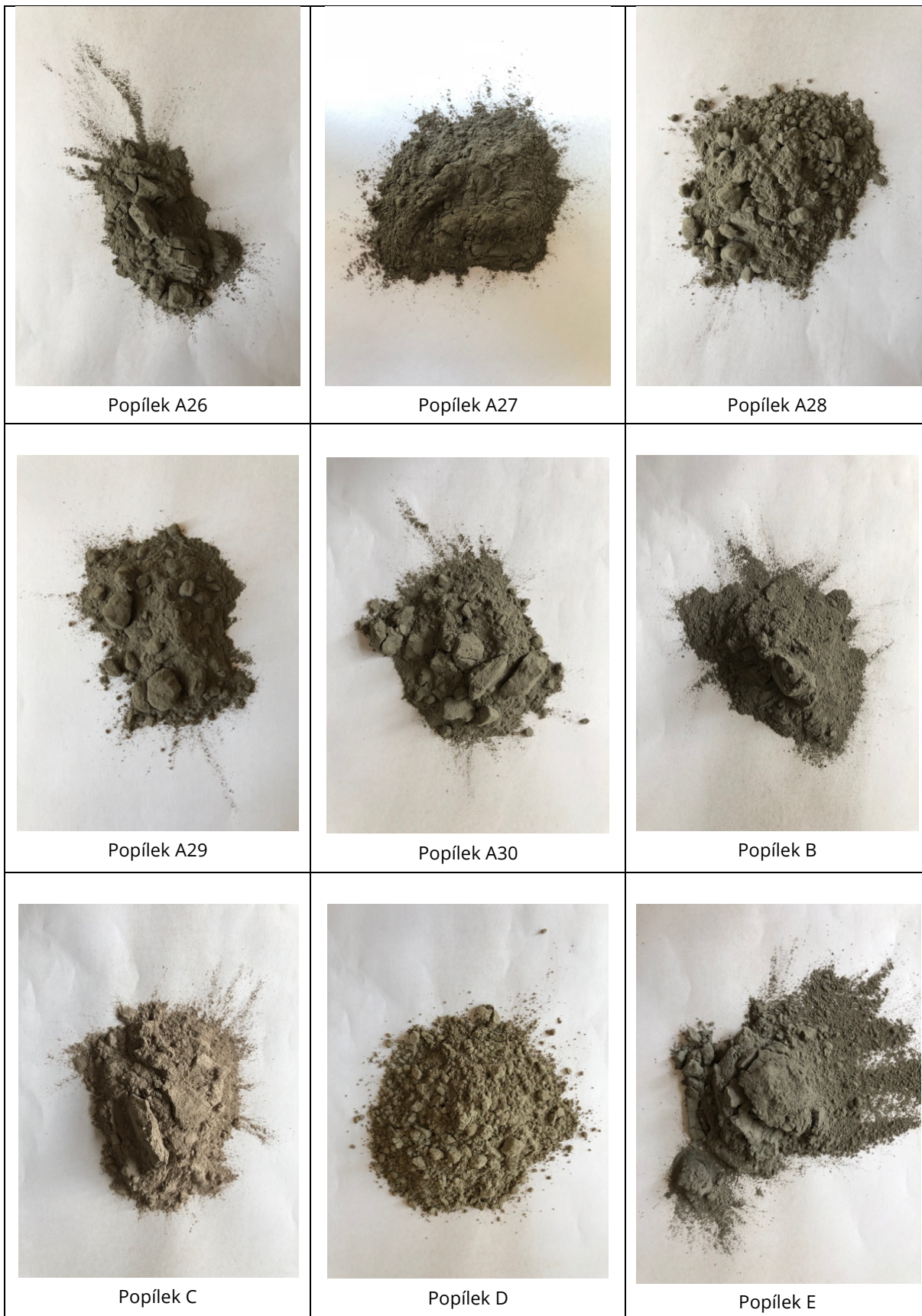
V Tabulce č. 9 je uveden původ a vizuální charakter všech zkoumaných vzorků. Vzorky popílku pocházejí převážně z vysokoteplotního spalování takřka výhradně hnědého uhlí. Vizuálně vykazovaly rozdílnou strukturu – některé měly strukturu podobnou spíše hladké či polohrubé mouce, jiné zase cukru moučka. Tyto rozdíly lze vidět na Obrázku č. 27, kde lze pozorovat tvorbu hrudek u některých vzorků. Lze se domnívat, že důvodem takového chování je vysoká jemnost vzorku popílku.

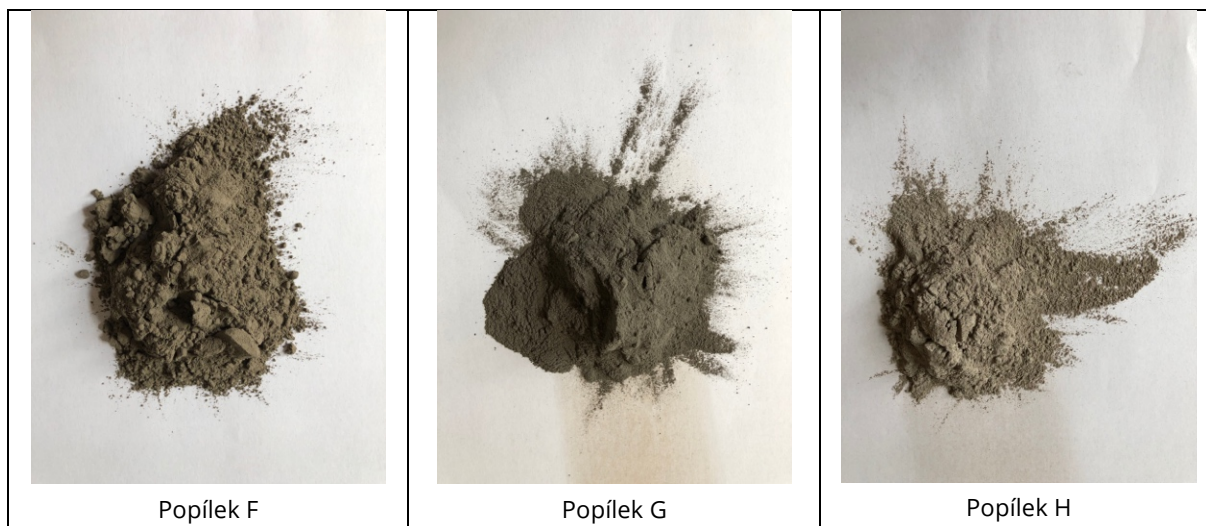
Tab. č. 9: Původ a vizuální charakter použitých popílků

	Ozn.	Typ spalovací	Palivo	Předpokládaná denitrifikační technologie	Barva	Struktura
1. Várka	A1	VP	HU, ČU, SHČU	SNCR	tmavě šedá	cukr moučka
	A2				světle šedá	polohrubá mouka
	A3				šedohnědá	cukr moučka
	A4				světle šedá	polohrubá mouka
	A5				světle šedá	polohrubá mouka
	A6				světle šedá	polohrubá mouka
	A7				světle šedá	polohrubá mouka
	A8				tmavě šedá	cukr moučka
	A9				tmavě šedá	cukr moučka
	A10				světle šedá	polohrubá mouka
	A11				světle šedá	polohrubá mouka
2. Várka	A19	VP	HU, ČU, SHČU	SNCR	tmavě šedá	cukr moučka
	A20				tmavě šedá	hladká mouka
	A21				světle šedá	hladká mouka
	A22				světle šedá	cukr moučka
	A23				tmavě šedá	cukr moučka
	A24				tmavě šedá	polohrubá mouka
	A25				tmavě šedá	cukr moučka
	A26				tmavě šedá	cukr moučka
	A27				tmavě šedá	polohrubá mouka
	A28				světle šedá	hladká mouka
A29	tmavě šedá	polohrubá mouka				
A30	světle šedá	hladká mouka				
	B	VP	HU	SNCR	tmavošedá	cukr moučka
	C	FP	HU	/	světlá šedo-hnědá	hrubá mouka
	D	VP	HU	SNCR	světle šedá	cukr moučka
	E	VP	HU	-	tmavě šedá	cukr moučka
	F	VP	HU	SNCR	tmavá šedo-hnědá	cukr moučka
	G	VP	HU	SNCR	tmavě šedá	hrubá mouka
	H	FP	HU	/	světlá šedo-hnědá	hrubá mouka
		VP – Vysokoteplotní popílek HU – Hnědé uhlí		FP – Fluidní popílek ČU – Černé uhlí	SNCR – Selektivní nekatalytická redukce SHČU – Směs hnědého a černého uhlí	









Obr. č. 27: Vzhled vzorků popílků A1 až H

4.1.1 Stanovení ztráty sušením

Pro ověření vlivu volné vody v popílku na zpracovatelnost mastixu, bylo provedeno stanovení ztráty sušením.

Z vyhodnocení uvedeného v Diagramu č. 1 vyplývá, že vzorek A3 vykazuje nejvyšší podíl volné vody. Z výsledku vyplývá, že vzorek A3 vykazuje pravděpodobně vyšší pórovitost. Všechny testované vzorky však splnily limitní normovou hodnotu, která je pro ztrátu sušením normově stanovena 0,35 % – viz. Tabulka č. 8. Vzorky dosáhly nanejvýš poloviny tohoto stanoveného limitu a hodnota ztráty sušením je všeobecně velice nízká.

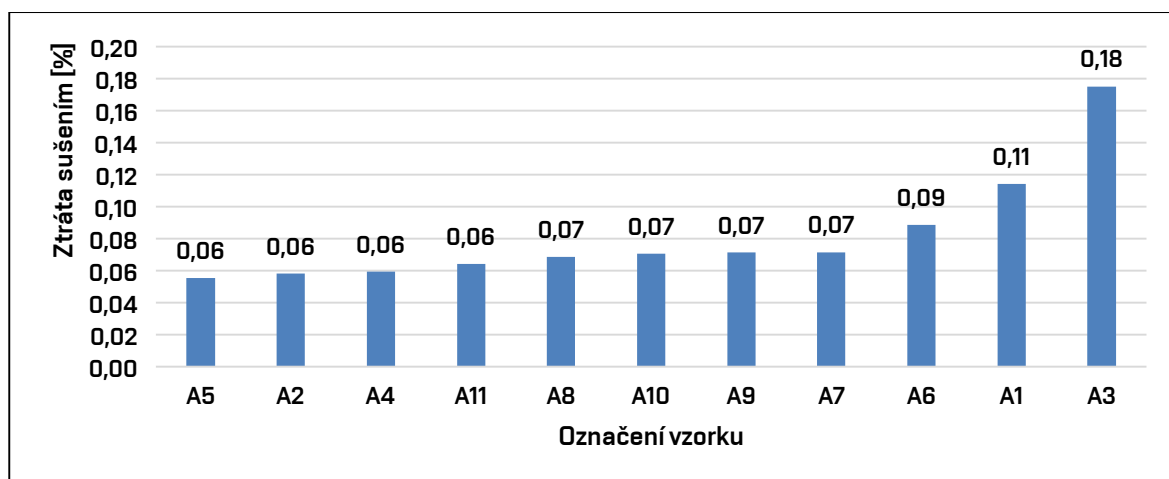


Diagram č. 1: Stanovené hodnoty ztráty sušením první série vzorků popílku A

4.1.2 Stanovení ztráty žíháním

Pro ověření vlivu volné vody v popílku na zpracovatelnost mastixu, bylo provedeno stanovení ztráty žíháním.

Z vyhodnocení uvedeného v Diagramu č. 2 vyplývá, že vzorek A3 vykazoval opět nejvyšší podíl volné vody. Z výsledku vyplývá, že vzorek A3 vykazuje pravděpodobně vyšší pórovitost.

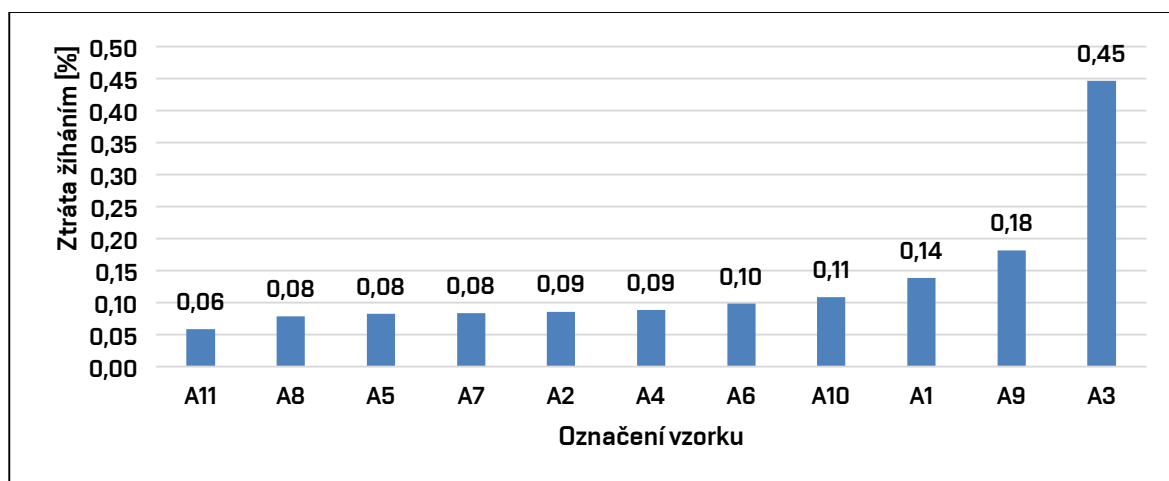


Diagram č. 2: Stanovené hodnoty ztráty žíháním první série vzorků popílku A

4.1.3 Stanovení měrné hmotnosti

Zkouška byla provedena pro získání základní charakteristiky popílku a získání vstupních dat pro stanovení měrného povrchu.

Vyhodnocení stanovení měrných hmotností vzorků popílku A je uvedeno v Diagramu č. 3. Vzorky vykazovaly výrazné odchylky – rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou byl $310 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Lze se domnívat, že příčinou nehomogenní struktury je rozdílné chemické složení vzorků. Zároveň vzorky s nejvyšší měrnou hmotností neodpovídaly vzorkům s nejvyšší ztrátou sušení či žíhání. Na základě lze usuzovat, že obsažená voda ve vzorcích není jediným parametrem řídicí měrnou hmotnost vzorků popílku.

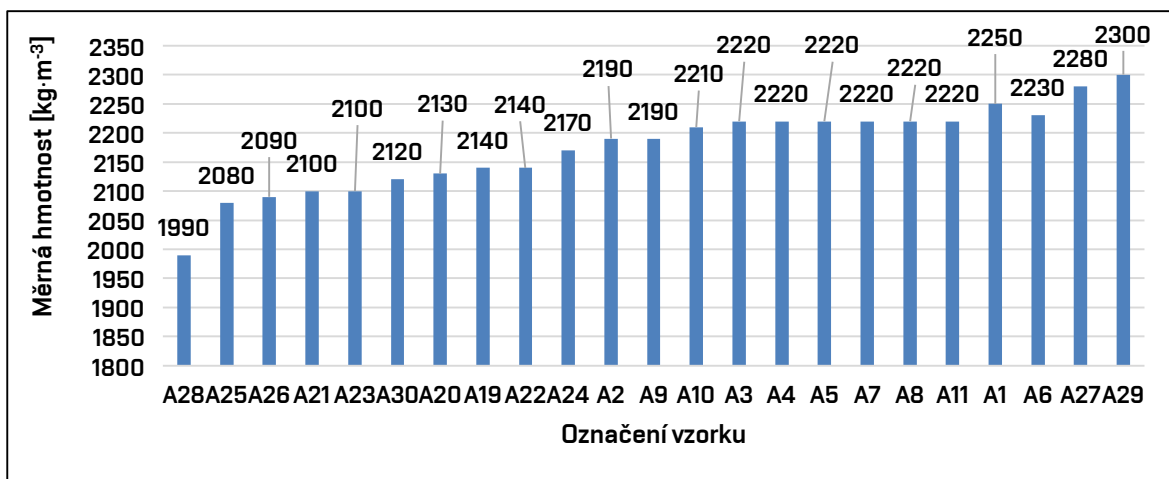


Diagram č. 3: Stanovené hodnoty měrné hmotnosti vzorků popílku A

Ve srovnání se vzorky popílku B až H vykazoval popílek A podobné hodnoty měrné hmotnosti jako popílky B, E a G – viz. Diagram č. 4. Tyto popílky vykazovaly nejnižší hodnoty měrné hmotnosti. Nejvyšší hodnoty měrné hmotnosti vykazovaly vzorky fluidních popílků C a H.

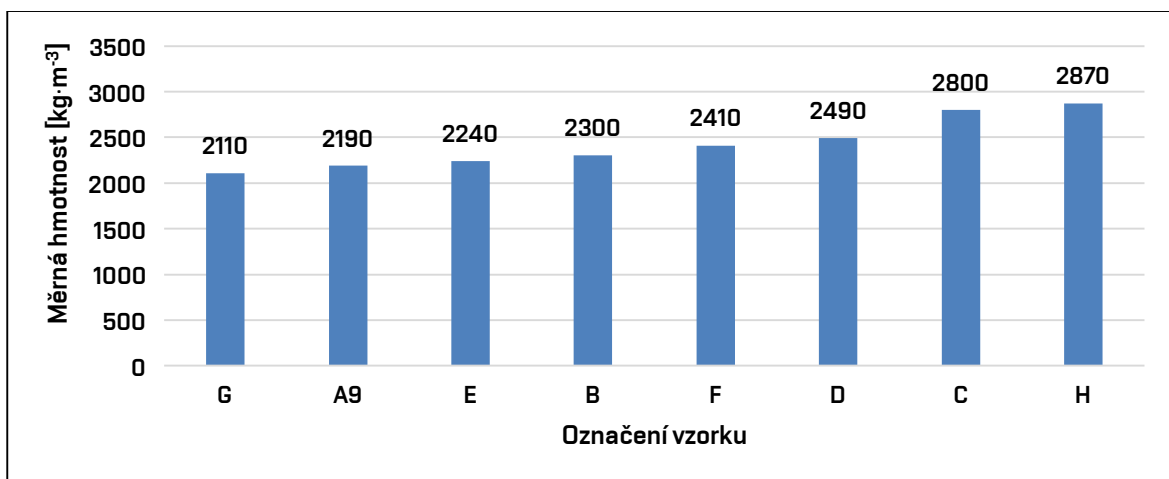


Diagram č. 4: Stanovené hodnoty měrné hmotnosti vzorků popílku A9, B, C, D, E, F, G, H

4.1.4 Stanovení měrného povrchu

Pro stanovení rozdílů struktury popílků byla provedeno stanovení měrného povrchu, který vyjadřuje současně granulometrii a pórovitost popílku. Pro optimální vyjádření rozdílů výsledných hodnot jednotlivých testovaných vzorků byla zvolena jednotka $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, která je pro praxi v dané oblasti používanější a transparentnější.

Stanovené hodnoty měrného povrchu vzorků popílku A vykazovaly velmi výrazné rozdíly – rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou $2090 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ – viz. Diagram č. 5. Nejvyšší hodnotu

vykazoval vzorek A3, který rovněž vykazoval nejvyšší ztrátu sušením a žiháním. Z výsledků vyplývá, že vzorek A3 pravděpodobně vykazuje zvýšenou pórovitost.

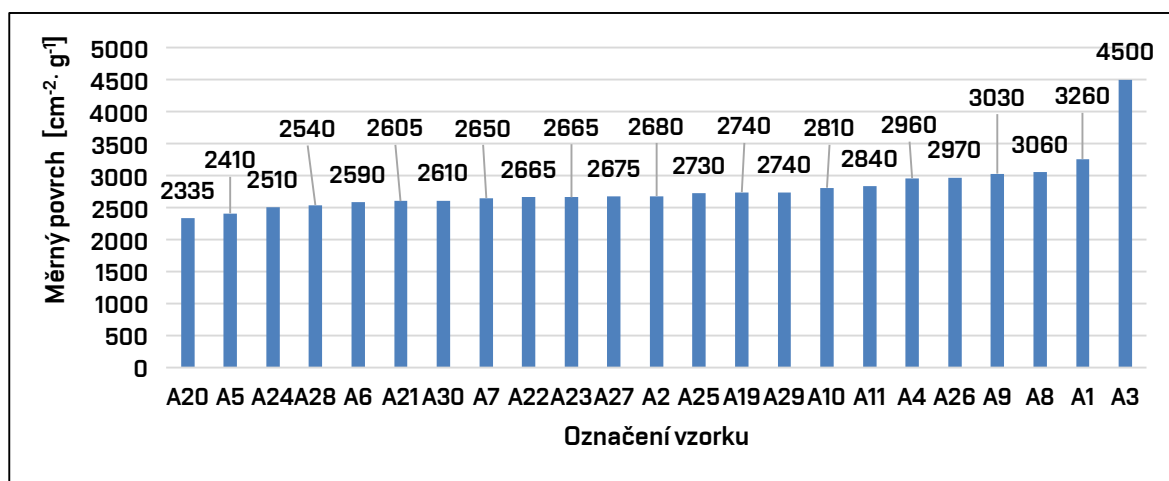


Diagram č. 5: Stanovené hodnoty měrného povrchu vzorků popílku A

Ve srovnání se vzorky popílku B až H vykazoval popílek A nejnižších hodnot měrného povrchu. Popílek B vykazoval velmi podobné hodnoty jako popílek A – viz. Diagram č. 6. Z výsledků vyplývá, že popílků A a B pravděpodobně vykazují hrubozrnnější granulometrii, nízkou porozitu nebo kombinaci těchto vlastností. Nejvyšší hodnoty měrného povrchu naopak vykazovaly vzorky fluidních popílků C a H. Lze se tedy domnívat, že tyto vzorky vykazují vyšší porozitu.

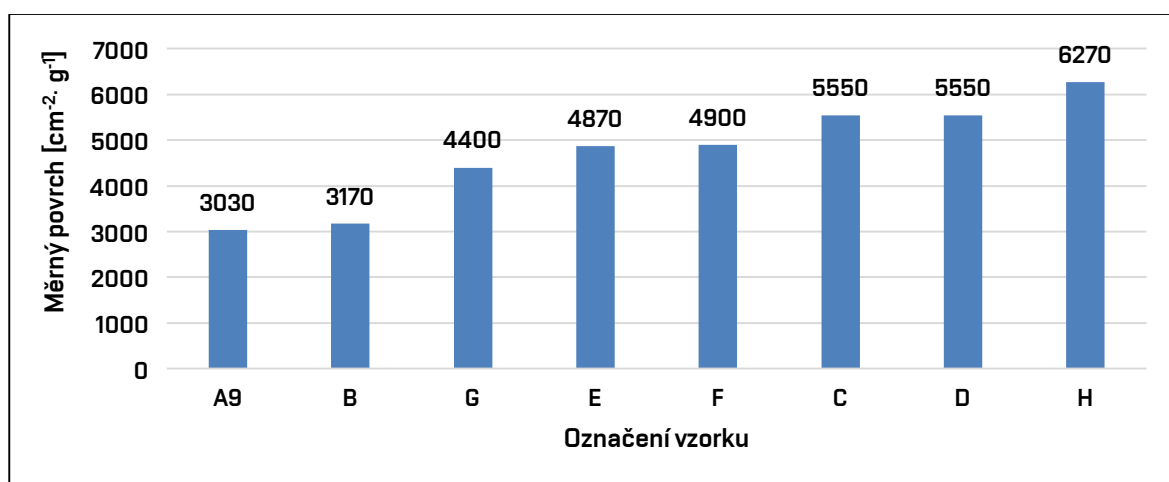


Diagram č. 6: Stanovené hodnoty měrného povrchu vzorků popílku A9, B, C, D, E, F, G, H

4.1.5 Stanovení sypné hmotnosti volně sypané

Pro ověření předpokladu objemových rozdílů navážek jednotlivých vzorků popílku o stejné hmotnosti bylo provedeno stanovení sypné hmotnosti volně sypané (sypná hmotnost v.s.).

Stanovením sypné hmotnosti v.s. popílku A vykazoval vzorek A3 poměrně výrazně odchýlenou hodnotu vzhledem ke zbytku souboru, který vykazoval odchylky v přijatelných mezích. Vlivem vzorku A3 však rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou sypné hmotnosti v.s. byl $410 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ viz. Diagram č. 7. Lze se domnívat, že tato odchylka je pravděpodobně způsobena velmi jemnou granulometrií či zvýšenou pórovitostí tohoto vzorku. Podobnost hodnot sypné hmotnosti v.s. ostatních vzorků indikuje jejich podobnost granulometrie.

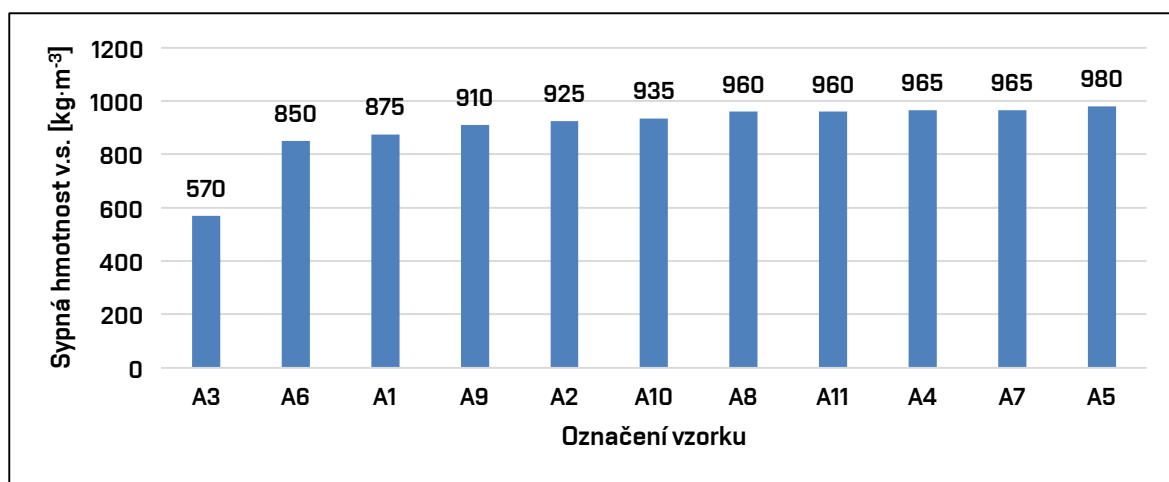


Diagram č. 7: Stanovené hodnoty sypné hmotnosti v.s. vzorků popílku A

Popílek A vykazoval ve srovnání s popílky B až H podobnou hodnotu sypné hmotnosti v.s. jako vzorky B, D, E a F – viz. Diagram č. 8. Nejnižší hodnoty sypné hmotnosti v.s. vykazovaly vzorky fluidních popílků C a H. Popílek G vykazoval rovněž významně nízkou hodnotu sypné hmotnosti. Výsledky ukazují, že popílků C, G a H budou pravděpodobně vykazovat zvýšenou pórovitost či rozdílnou granulometrii.

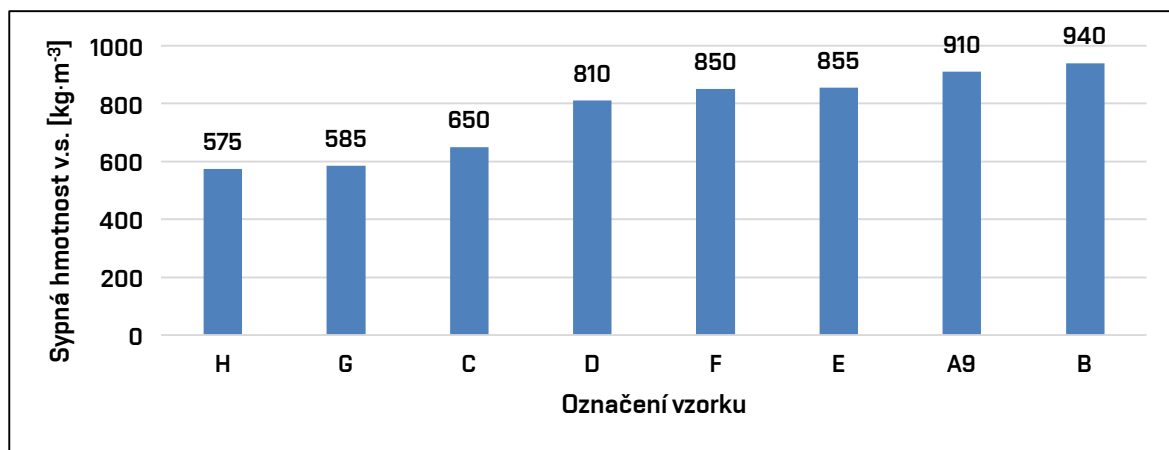


Diagram č. 8: Stanovené hodnoty sypné hmotnosti v.s. vzorků popílku A9, B, C, D, E, F, G, H

4.1.6 Stanovení nasákavosti

Na základě výsledků předchozích měření a předpokladu o vysoké pórovitosti některých vzorků, byla snaha o stanovení této vlastnosti metodou BET. Avšak z důvodu vysoké jemnosti vzorků nebylo možné porozitu stanovit – se zaručenou reprodukovatelností dokáže přístroj stanovit porozitu vzorků o měrném povrchu vyšším než $100\ 000\ \text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$. Vzhledem k tomuto faktu, bylo provedeno stanovení nasákavosti. Nasákavost vzorku je totiž v podstatě nepřímým vyjádřením porozity.

Většina vzorků popílku A vykazovala nasákavost okolo 0,5 %. Výraznou odchylku vykazovaly vzorky A3 a A20, které vykazovaly téměř dvojnásobnou hodnotu. Vyhodnocení výsledků stanovení nasákavosti popílku A je uvedeno v Diagramu č. 9. Vysoká nasákavost vzorku A3 společně s jeho velmi nízkou sypnou hmotností předpovídají jeho zvýšenou pórovitost či velmi jemnou strukturu.

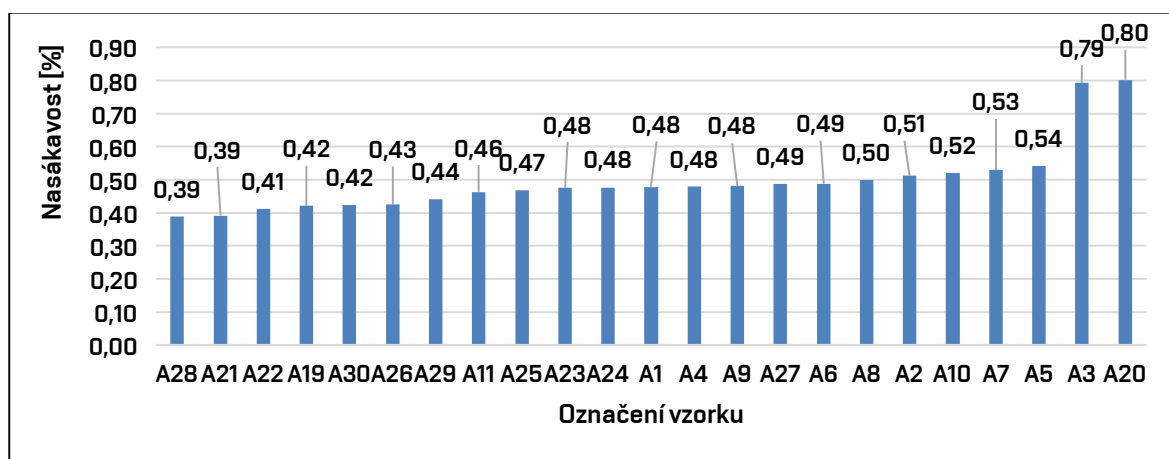


Diagram č. 9: Stanovené hodnoty nasákavosti vzorků popílku A

Ve srovnání s ostatními druhy popílku vykazoval popílek velmi podobné hodnoty nasákavosti jako popílky B, E a F. Výrazně vyšší nasákavost vykazovaly vzorky C, G a H, což nasvědčuje předpokladu o jejich vyšší pórovitosti. Vyhodnocení výsledků stanovení nasákavosti popílku A až H je uvedeno v Diagramu č. 10.

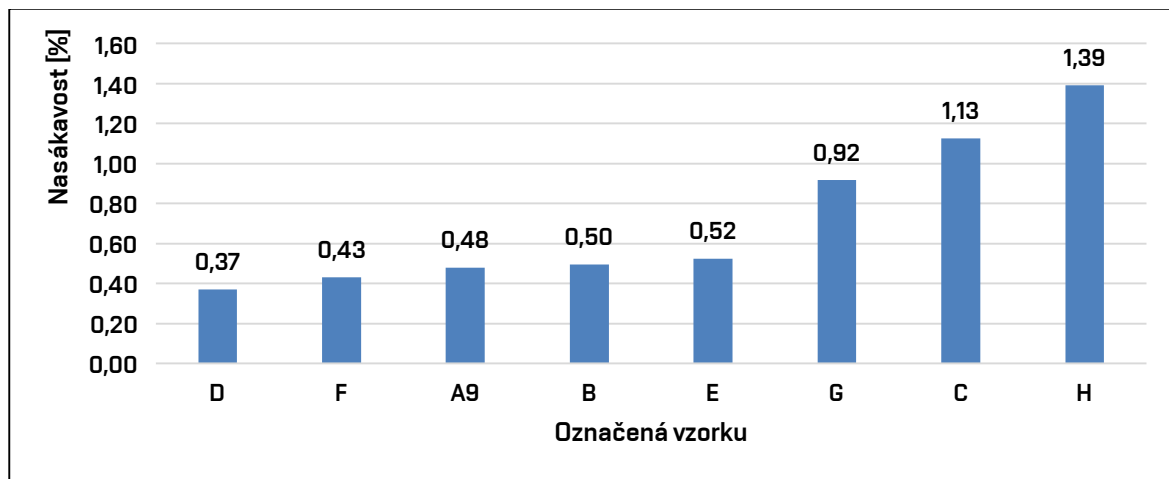


Diagram č. 10: Stanovené nasákavosti vzorků popílku A9, B, C, D, E, F, G, H

4.1.7 Stanovení granulometrického složení

Na základě předpokladů o rozdílnosti granulometrie některých vzorků byl pro ověření proveden granulometrický rozbor. Vzhledem k údajům o jemnosti vzorků, vyplývajícím měření měrného povrchu, byly srovnávány výše podílu částic frakce do 0,063 a 0,125 mm.

V Diagramu č. 11 je znázorněna celková distribuce částic vzorků popílku A. Ze znázornění vyplývá, že popílek A3 a A20 vykazuje největší podíl jemných částic. Ostatní popílky neprojevují výrazné odchylky.

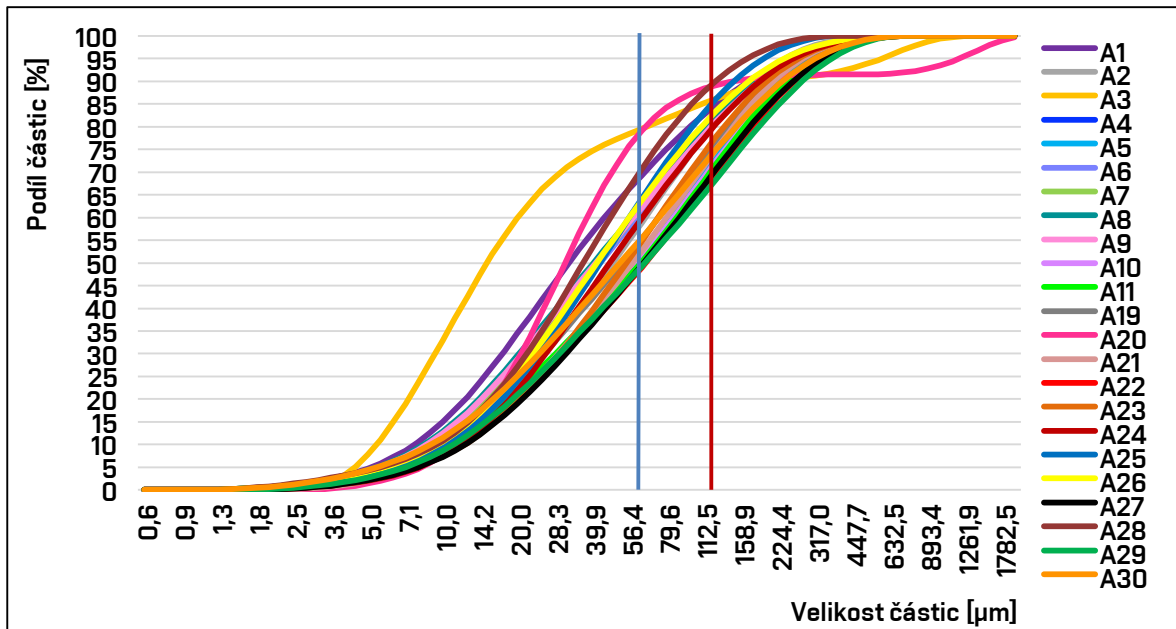


Diagram č. 11: Stanovení distribuce velikosti částic – integrální křivka zrnitosti vzorků popílku A

Z vyhodnocení výsledných hodnot podílů částic frakce do velikosti 0,063 a 0,125 mm vzorků popílku A jsou patrné výrazné rozdíly velikosti a zastoupení jednotlivých částic vzorků – rozdíl v obsahu částic do velikosti 0,063 mm je až 31 % a do velikosti části 0,125 mm je 22% – viz. Diagram č. 12. Výsledky indikují významné rozdíly v granulometrii jednotlivých vzorků. Vzorky A3, A20 a A28 vykazují nejjemnější složení. Naopak vzorky A29, A22 a A27 jsou nejhrubozrnější.

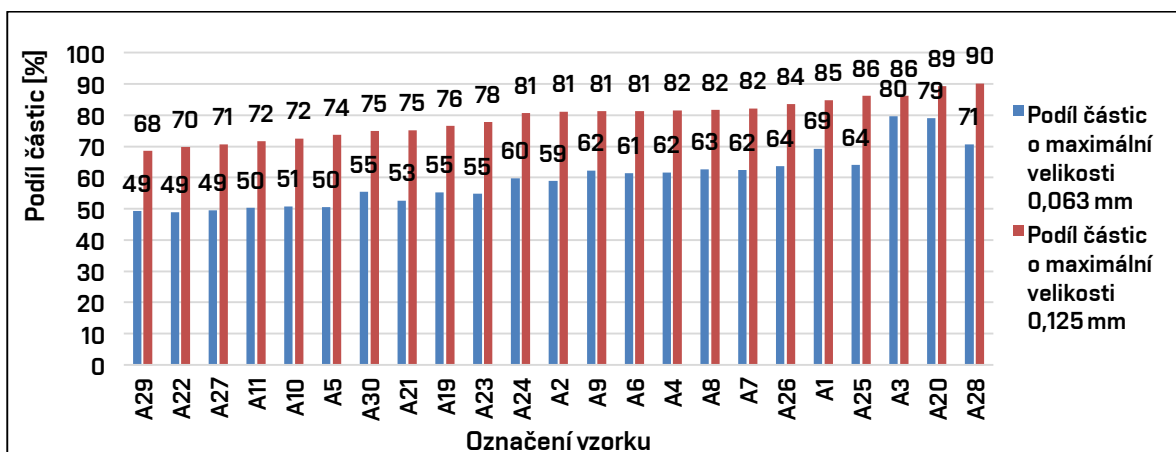


Diagram č. 12: Stanovení distribuce částic o velikosti sítích 0,063 a 0,125 mm – integrální křivka zrnitosti vzorků popílku A

V Diagramu č. 13 je znázorněna distribuce velikosti částic všech popílku. Je vidět, že popílek D vykazuje ještě vyšší jemnost než vzorek popílku A3. Velmi jemnozrné jsou také

popílky E a F. Naopak největší podíl větších částic obsahuje popílek B. Tyto výsledky jsou také uvedeny v Diagramu č. 14.

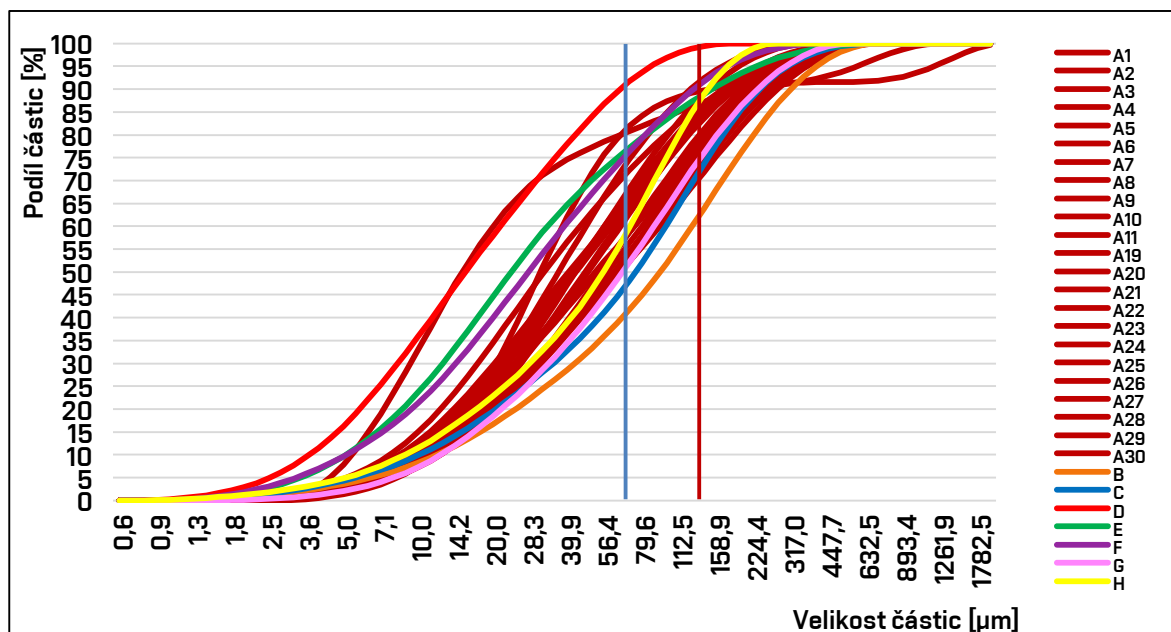


Diagram č. 13: Stanovení distribuce velikosti částic - integrální křivka zrnitosti vzorků popílku A-H

V rámci srovnání jednotlivých druhů popílků vykazuje střední granulometrii - viz. Diagram č. 14. Třetina částic popílku H má velikost mezi 0,063 a 0,125 mm.

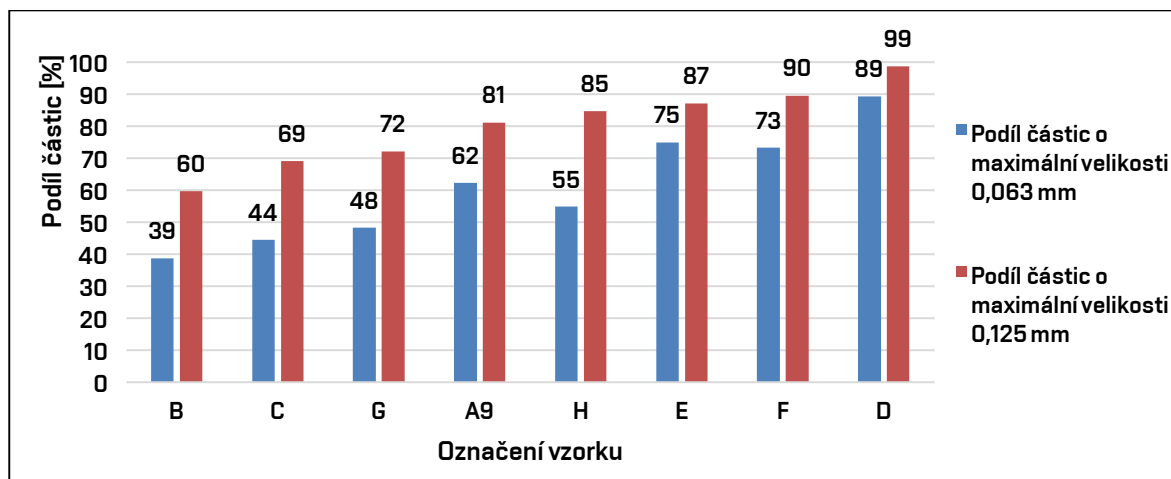
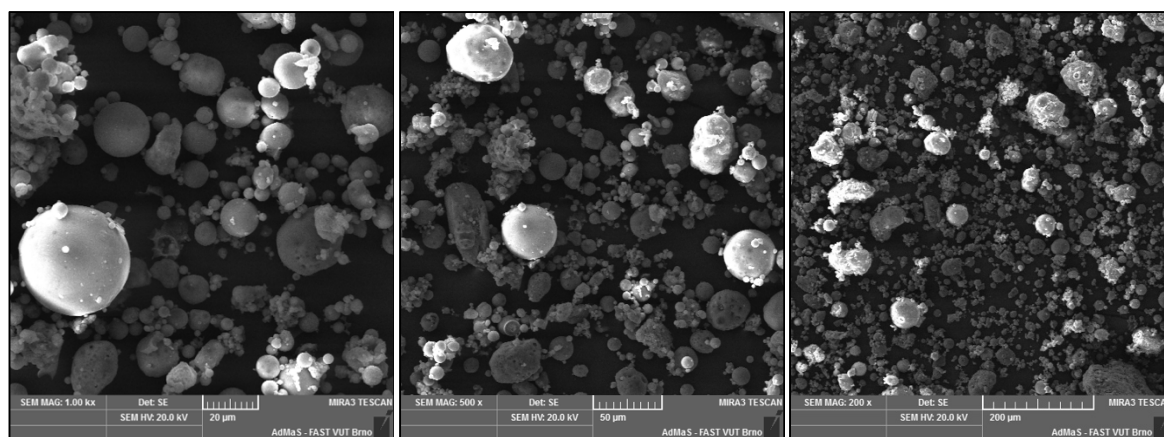


Diagram č. 14: Stanovení distribuce částic o velikosti sítích 0,063 a 0,125 mm - integrální křivka zrnitosti vzorků popílku A9, B, C, D, E, F, G, H

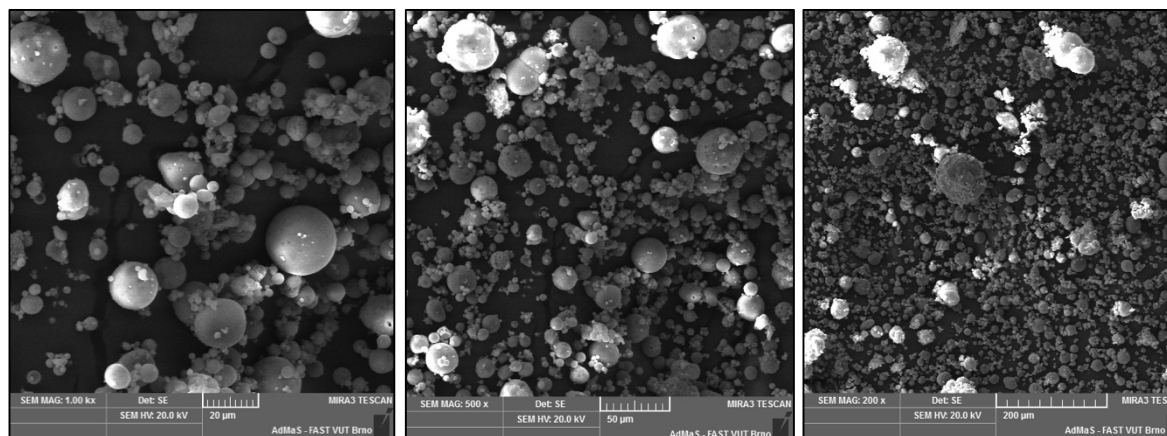
4.1.8 Zobrazení mikrostruktury

V rámci provádění hodnocení mikrostruktury popílku, na základě dříve stanovených vlastností, byly provedeny snímky elektronovým mikroskopem (SEM) pro umožnění vizuálního hodnocení. Byly provedeny snímky třech vzorků A3, A5 a A11, které byly vybrány na základě nejvyšší, střední a nejnižší hodnoty měrného povrchu. Snímky byly provedeny ve třech rozlišeních – 20, 50 a 200 μm .

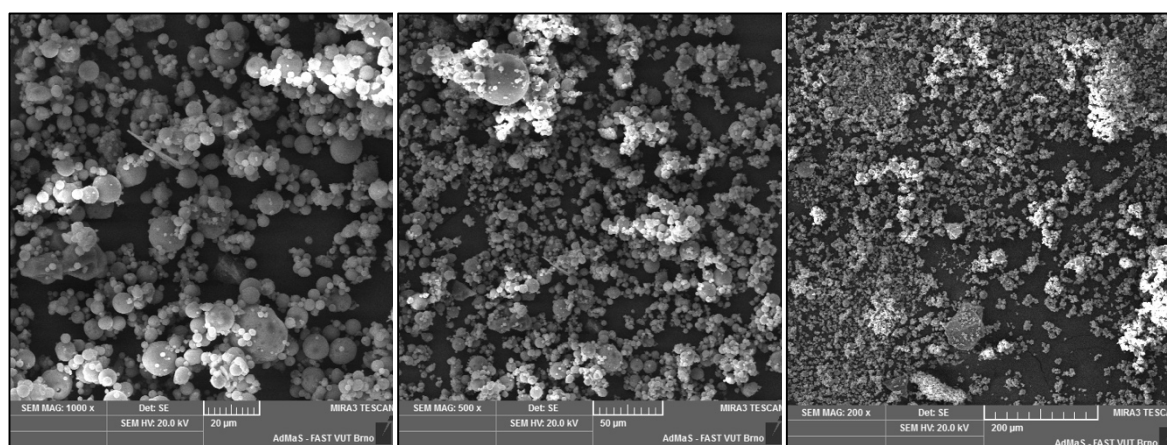
Na snímcích všech třech vzorků lze vidět téměř pravidelný kulovitý tvar částic s uceleným povrchem. Je pravděpodobné, že by částice měly na základě vizuálního hodnocení těchto snímků vykazovat nízkou pórovitost. Při prohlížení snímků o stejném rozlišení, je možné pozorovat rozdíly granulometrie jednotlivých vzorků popílku. Například: Na snímcích o rozlišení 20 μm (vlevo) jsou vidět postupně velké kulovité částice popílku A5 – Obrázek č. 28, střední kulovité částice popílku A11 – Obrázek č. 29 a nejmenší kulovité částice popílku A3 – Obrázek č. 30. Z výsledků také vyplývá korelace s hodnotami měrného povrchu – vzorek A3 vykazoval nejvyšší měrný povrch, naopak vzorek A5 vykazoval nejhrubější nejnižší měrný povrch.



Obr. č. 28: Snímky mikrostruktury vzorku popílku A5 s rozlišením 20, 50 a 200 μm (zleva)



Obr. č. 29: Snímky mikrostruktury vzorku popílku A11 s rozlišením 20, 50 a 200 µm (zleva)



Obr. č. 30: Snímky mikrostruktury vzorku popílku A3 s rozlišením 20, 50 a 200 µm (zleva)

4.1.9 Stanovení chemického složení

Charakterizování jednotlivých druhů popílků bylo provedeno na základě chemického rozboru. Z kapacitních důvodů a vzhledem k předpokladu, že chemický charakter popílku nebude hrát roli na zpracovatelnost mastixu, byly provedeny chemické rozboru pouze pro jeden vzorek od každého druhu popílku – viz. Tabulka č. 10.

Popílek H obsahuje velmi malé množství silikátů. Výrazné rozdíly lze také pozorovat u obsahu Fe_2O_3 . Na základě obsahu CaO je zřejmé, že popílků C a H pocházejí v fluidního spalování. Zvýšené množství obsahuje také popílek G. Popílků C a H vykazují také vysoké hodnoty obsahu CaO a $\text{SO}_3 + \text{SO}_4^{2-}$.

Tab. č. 10: Chemické složení jednotlivých druhů popílků

Označení vzorku	SiO ₂ [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Fe ₂ O ₃ [%]	CaO [%]	MgO [%]	Na ₂ O [%]	K ₂ O [%]
A9	52,2	29,3	7,46	1,72	1,26	0,538	2,01
B	52,7	28,7	5,53	1,9	1,2	0,244	1,860
C	42,30	26,70	4,14	13,90	0,913	0,259	0,754
D	49,60	33,00	5,97	1,53	0,914	0,399	0,880
E	55,60	26,40	5,89	1,53	1,050	0,294	1,890
F	51,00	28,40	10,00	2,17	1,320	0,408	1,600
G	53,40	19,20	8,60	4,25	1,860	0,570	1,89
H	33,10	20,70	5,30	19,70	0,950	0,310	0,57
Označení vzorku	SO ₃ + SO ₄ ²⁻ [%]	TiO ₂ [%]	P ₂ O ₅ [%]	Cl ⁻ [%]	P [%]	MnO [%]	NH ₃ [%]
A9	0,37	1,74	0,12	<40 mg/kg suš.	0,052	0,0427	/
B	0,20	1,700	<0,10	<40 mg/kg suš.	<0,050	0,0457	/
C	4,96	2,270	0,19	<40 mg/kg suš.	0,084	0,0268	/
D	0,42	2,830	<0,10	<40 mg/kg suš.	<0,050	0,0229	/
E	0,37	1,260	<0,10	<40 mg/kg suš.	<0,050	0,0592	/
F	0,53	1,230	<0,10	<40 mg/kg suš.	<0,050	0,0552	/
G	0,53	0,62	0,23	0,03	/	/	20,053
H	5,43	2,27	0,18	0,01	/	/	30,110

4.1.10 Stanovení pH výluhu popílků

Pro ověření charakteru popílků vzhledem k jejich chování v mastixech, které neodpovídalo zcela stanoveným fyzikálním vlastnostem, byly ještě později stanoveny hodnoty pH výluhu všech popílků.

Provedením stanovení pH výluhu popílků A byly zjištěny enormní rozdíly charakteru jednotlivých vzorků – hodnoty pH výluhů některých popílků se pohybovaly na hranici silné zásaditosti a jiné naopak na hranici silné kyselosti – viz. Diagram č. 15. Většina vzorků vykazovala především silnou kyselost. Důležitým faktem navíc je, že 14 ze 23 stanovených vzorků popílků A nesplnilo normovou limitní hodnotu pro použití do asfaltových výrobků, která je stanovena dle ČSN 72 2071-10 minimálně pH=5,0 – viz. Tabulka č. 8.

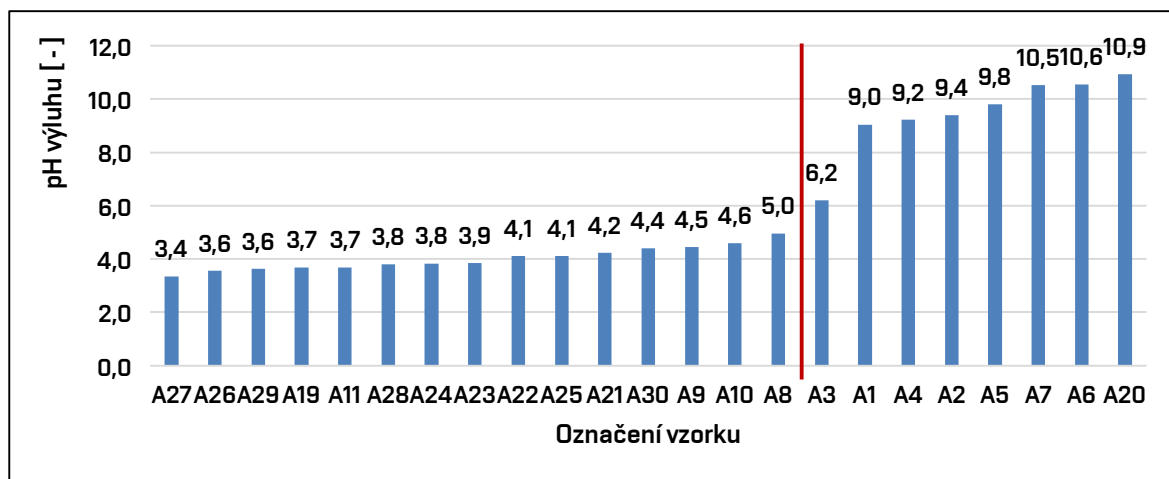


Diagram č. 15: Stanovené hodnoty pH výluhu vzorků popílku A

Při srovnání charakteru popílků A až H lze usoudit, že nejvyšší zásaditost vykazovaly vzorky C, G a H. Vzorky B, D, E a F nesplnily limitní hodnotu pro použití do asfaltových výrobků danou normou ČSN 72 2071-10. Výsledné hodnoty měření jsou uvedeny v Diagramu č. 16.

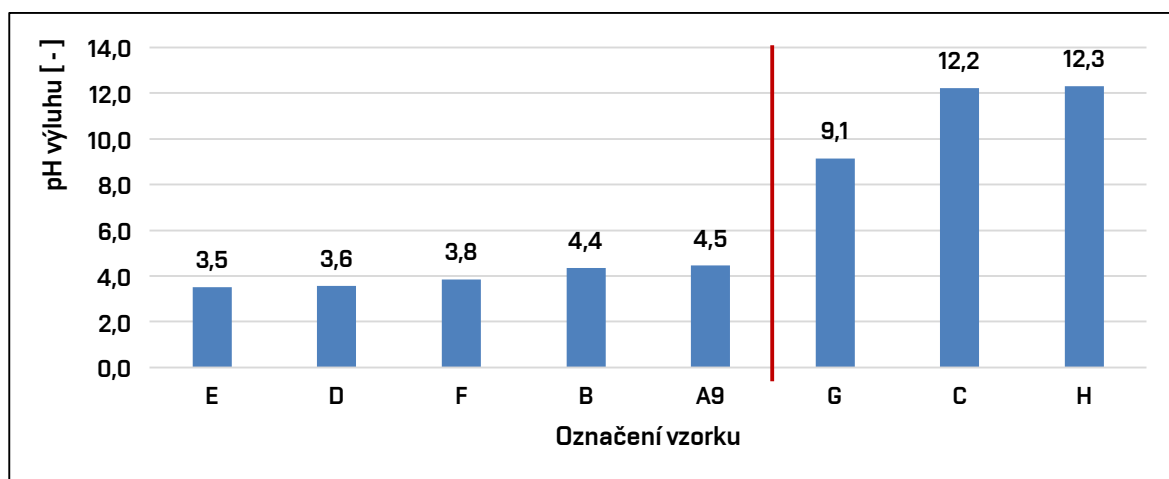


Diagram č. 16: Stanovené hodnoty pH výluhu vzorků popílku A9, B, C, D, E, F, G, H

4.2 Závěr Etapy I

Provedením analýzy vlastností vzorků popílku A byly zjištěny níže uvedené skutečnosti.

- Stanovené hodnoty ztráty sušením splňovaly normový limit uvedený v Tabulce č.8.
- Stanovení měrné a sypané hmotnosti odhalilo velmi výrazné rozdíly charakteru popílku z hlediska jeho struktury. Měrná hmotnost vyjádřila rozdílnost složení popílku a sypaná hmotnost navíc ještě rozdílnou granulometrii.

- Stanovení měrného povrchu odhalilo výrazné rozdíly v granulometrii navíc s vlivem vstupující porozity vzorků.
- Stanovení distribuce velikosti částic potvrdilo předchozí tvrzení o výrazné rozdílnosti granulometrie jednotlivých vzorků.
- Stanovením nasákavosti popílků bylo potvrzeno tvrzení o rozdílnosti porozity vzorků. Porozita však byla velice nízká, což je dáno velmi malou velikostí částic popílku.
- Zobrazením mikrostruktury popílku byly potvrzeny tvrzení o odlišné granulometrii vzorků a nízké pórovitosti.
- Stanovením pH výluhu popílku A bylo zjištěno, že 14 z 23 vzorků (celkově limit nesplnilo 18 z 30 vzorků včetně popílků B, D, E, F) nesplnilo normový limit pH výluhu uvedený v Tabulce č. 8.

Srovnáním vlastností popílků A až H bylo zjištěno, že popílek B se svými vlastnostmi nejvíce přiblížil popílku A. Popílků C a H vykazovaly vysoké hodnoty měrné hmotnosti, nasákavosti a měrného povrchu, nízkou sypanou hmotnost, hrubozrnnější částice, zásadité pH a vysoký obsah CaO, což souvisí s jejich původem z fluidního spalování. Jejich nevhodnost pro použití v asfaltových směsích se tím jeví jako pravděpodobná. Srovnáním chemického složení byly zjištěny vysoké rozdíly obsahů SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO a síranů $\text{SO}_3 + \text{SO}_4^{2-}$.

5 Etapa II: Návrh metodiky laboratorního zkoušení a analýza vlastností mastixů pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů

V průběhu druhé etapy byl definován konkrétní ukazatel charakterizující mastix z hlediska zpracovatelnosti – tento ukazatel má umožnit relevantní srovnání zkoušených druhů mastixů. Dále byl proveden návrh metodiky zkoušení zpracovatelnosti mastixů a provedení samotného měření jednotlivých vzorků mastixů. Mastix, obsahující popílek A, byl zvolen jako referenční z důvodu jeho aktuálního využití ve výrobním závodě, pro který byla tato práce zpracovávána.

Pro zajištění srovnatelnosti byla pro účel výzkumu zvolena referenční receptura A pro všechny záměsi – Tabulka č. 11. Jedná se o aktuálně používanou recepturu navrženou k použití výrobním závodem. Všechny výsledky jsou na tuto recepturu vztaženy.

Tab. č. 11: Receptura A pro výrobu mastixu

Složka	Podíl [%]
popílek	57,60
Směs asfaltů ASF+AOSI	42,40

Pro lepší orientaci při vyhodnocování bylo každému vyrobenému vzorku mastixu přiděleno materiálové číslo – RSX – Y, přičemž X je pořadové číslo mastixu dle výroby a Y je označení popílku obsaženého v mastixu. Pro zhotovení mastixů byly využity stejné vzorky popílků jako v Etapě I. Souhrn zhotovených mastixů a provedených zkoušek je uveden v Tabulce č. 12.

Tab. č. 12: Souhrn zhotovených mastixů a provedených zkoušek

Datum zhotovení směsi	Unikátní označení mastixu	Označení popílku	Typ zkoušky
29/05/2018	RS001 – A1	A1	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
29/05/2018	RS002 – A2	A2	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
29/05/2018	RS003 – A3	A3	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
29/05/2018	RS004 – A4	A4	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
29/05/2018	RS005 – A5	A5	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
29/05/2018	RS006 – A6	A6	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
29/05/2018	RS007 – A7	A7	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
29/05/2018	RS008 – A8	A8	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
29/05/2018	RS009 – A9	A9	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
29/05/2018	RS010 – A10	A10	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
29/05/2018	RS011 – A11	A11	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
03/07/2018	RS012 – A3	A3	Dynamická viskozita
03/07/2018	RS013 – A5	A5	Dynamická viskozita
04/07/2018	RS014 – A3	A3	Modul tuhosti ve smyku
04/07/2018	RS015 – A5	A5	Modul tuhosti ve smyku
10/07/2018	RS016 – A3	A3	Torzní moment
10/07/2018	RS017 – A5	A5	Torzní moment
11/07/2018	RS018 – A3	A3	Modul tuhosti ve smyku
11/07/2018	RS019 – A5	A5	Modul tuhosti ve smyku
18/07/2018	RS020 – B	B	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
18/07/2018	RS021 – C	C	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
18/07/2018	RS022 – D	D	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
18/07/2018	RS023 – E	E	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
18/07/2018	RS024 – F	F	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
18/07/2018	RS025 – G	G	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
18/07/2018	RS026 – H	H	Stanovení bodu měknutí, Stanovení hloubky penetrace
13/08/2018	RS027 – A3	A3	Viskozita
13/08/2018	RS028 – A5	A5	Viskozita
14/08/2018	RS029 – A3	A3	Viskozita
14/08/2018	RS030 – A5	A5	Viskozita
21/08/2018	RS031 – A17	A17	Viskozita
21/08/2018	RS032 – B	B	Viskozita
21/08/2018	RS033 – E	E	Viskozita

22/08/2018	RS034 - D	D	Viskozita
22/08/2018	RS035 - F	F	Viskozita
14/09/2018	RS036 - A27	A27	Viskozita
14/09/2018	RS037 - A2	A2	Viskozita
17/09/2018	RS038 - A23	A23	Viskozita
17/09/2018	RS039 - A7	A7	Viskozita
17/09/2018	RS040 - A28	A28	Viskozita
17/09/2018	RS041 - A6	A6	Viskozita
17/09/2018	RS044	-	Viskozita
17/09/2018	RS045	-	Viskozita
17/09/2018	RS046	-	Viskozita
18/09/2018	RS042 - A4	A4	Viskozita
18/09/2018	RS043 - A26	A26	Viskozita
18/09/2018	RS047 - A9	A9	Viskozita

5.1 Návrh metodiky zkoušení mastixů

Tato kapitola je věnována konkrétnímu popisu návrhu metodiky zkoušení mastixů. Na počátku bylo provedeno stanovení bodu měknutí a penetrace jehlou. Výsledné hodnoty obou měření však nevykazovaly výrazné rozdíly a proto byly označeny jako ne příliš vhodné pro vyjádření zpracovatelnosti mastixů. Následně byl hledaným ukazatelem nespecificky označen odpor proti tečení. Vzorky pro návrh metodiky zkoušení mastixů byly vybrány na základě předpokladu přímé závislosti viskozity mastixu na měrném povrchu popílků. Byly vybrány 2 vzorky mastixů A s nejvyšší (vzorek A3) a nejnižší hodnotou měrného povrchu (vzorek A5) za předpokladu umožnění stanovení maximálního rozdílu hodnot.

5.1.1 Stanovení dynamické viskozity

Stanovení dynamické viskozity rotačním viskozimetrem bylo provedeno pomocí vřetene velikosti 27, při teplotě 180 °C a měření trvalo 25 minut. Teplota byla zvolena na základě podkladů technologie výrobního závodu a dle teploty zhotovitelnosti vzorků mastixu v laboratoři. Teplota se při výrobě vzorku ve výrobním závodě pohybuje mezi 145–210 °C. Při zhotovování vzorku muselo být asfaltové pojivo rozehřáto na 180°C, protože při nižší teplotě docházelo k jeho rychlému vychladnutí, což znemožňovalo zhotovení záměsi s popílkem. Lze se domnívat, že tomu tak bylo z důvodu velmi malého množství vzorku (12 g), který tak rychle ztrácel akumulované teplo.

Tab. č. 13: Dynamická viskozita vzorků

Označení vzorku	Viskozita [mPa·s]	
	Počátek měření	Konec měření
RS012 – A3	1750	4750
RS013 – A5	1175	1325

Po celou dobu měření docházelo u obou vzorků k poklesu hodnot měřené viskozity. Příčinou toho byla pravděpodobně sedimentace popílku na dně vřetena, která způsobovala falešné řídnutí směsi. Výrazný rozdíl počátečních hodnot viskozity obou vzorků byl způsoben rozdílem času, který uplynul od přípravy vzorku do spuštění testu – oba vzorky byly namíchány ve stejnou dobu, měřeny však byly po sobě. Nižší počáteční viskozita mastixu RS012–A3 byla pravděpodobně způsobena sedimentací popílku ještě před počátkem testu. Snížení teploty by pravděpodobně mohlo eliminovat problémy se sedimentací popílku. Stanovit takovou teplotu se však jevílo být velmi komplikované. Vyjádření odporu proti tečení mastixu prostřednictvím dynamické viskozity a jeho stanovením rotačním viskozimetrem bylo tedy označeno v našem případě za nevhodné.

5.1.2 Stanovení torzního momentu

Stanovení torzního momentu míchadlem doprovázely po celou dobu měření problémy s udržení konstantní teploty. Zařízení nebylo vybaveno termostatickým ohřevem a hodnoty torzního momentu vzorků RS016–A3 a RS017–A5 nebylo možné stanovit. Metoda tedy byla v našem případě označena jako nevhodná pro použití vyjádření odporu proti tečení mastixů.

5.1.3 Stanovení modulu tuhosti ve smyku

Na základě komplikací v předešlých měřeních byl jako další parametr pro vyjádření zpracovatelnosti mastixu zvolen modul tuhosti ve smyku. Vzhledem k předpokladu vysoké tuhosti směsi byla teplota stanovení zvolena 110 °C. Zavedená teplota stanovení modulu tuhosti ve smyku je pro asfaltová pojiva v rozmezí 60 až 80 °C. Pro stanovení u mastixů bylo nutno tuto teplotu zvýšit z důvodu jejich vyšší tuhosti. Zároveň se jednalo o maximální teplotu přípouštějící reprodukovatelnost měření – neprojevuje se setrvačnost měřicí geometrie. Mastix představuje viskoelastický materiál a modul tuhosti ve smyku je u něj závislý nejen na teplotě ale i na měřicí frekvenci. Referenční hodnota frekvence je pro asfaltová pojiva hodnota 1,59 Hz a výsledky byly vztaženy právě na tuto hodnotu.

První stanovení modulu tuhosti ve smyku bylo provedeno za pomoci dynamického smykového reometru s využitím módu rotačního viskozimetru (deska – kužel) vzorků RS014–A3 a RS015–A5. Tyto vzorky byly připraveny bez definovaného postupu. Měření bylo provedeno při maximálním rozsahu štěrbinu 2 mm. Výsledky měření jsou uvedeny v Diagramu č. 17. Výsledek měření vzorku RS014 – A3 vykazoval nepravidelný průběh. Pro ověření správnosti výsledných hodnot bylo měření provedeno dvakrát, přičemž druhé měření vykazovalo velmi podobný průběh. Odchýlení hodnot měření lze vysvětlit pravděpodobným vzpříčením částic popílku v měřicí geometrii – částice pravděpodobně dosahovaly větších rozměrů než byl rozsah štěrbinu a dále zřejmě docházelo k ovlivnění laminárního proudění.

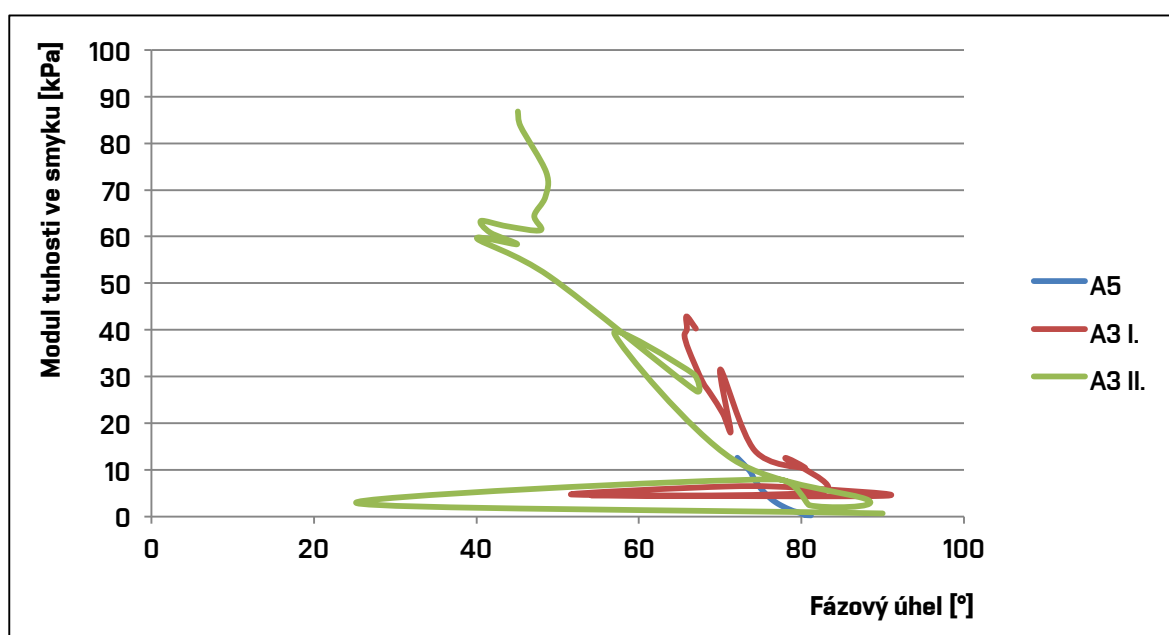


Diagram č.17: Stanovení modulu tuhosti ve smyku vzorků RS014 – A3 a RS015 – A5 (popílek bez úpravy)

Pro eliminaci odchýlených hodnot měření byla zavedena úprava popílku. Popílek byl před zhotovením mastixu proset na síť velikosti oka 1 mm. Také byla snížena teplota stanovení na 80 °C, jelikož ta byla shledána jako dostačující.

Za aplikace tohoto opatření a zachování původních nastavení, bylo provedeno druhé stanovení modulu tuhosti ve smyku vzorků RS018–A3 a RS019–A5. Upravením maximální frakce popílku bylo dosaženo úspěšného stanovení hodnot modulu tuhosti ve smyku, které jsou uvedeny v Diagramu č. 18. Oba vzorky však vykazovaly velmi podobné hodnoty měření a proto

byl modul tuhosti ve smyku označen jako ne příliš vhodný ukazatel pro vyjádření zpracovatelnosti mastixů.

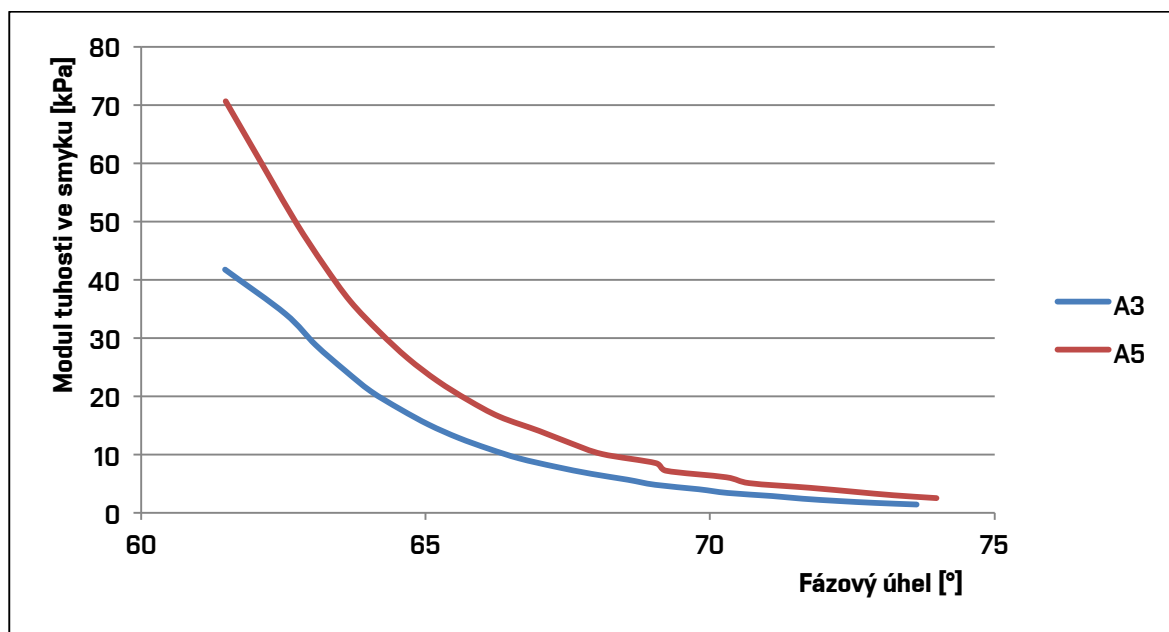


Diagram č. 18: Stanovení modulu tuhosti ve smyku vzorků RS018 – A3 a RS019 – A5 (max. frakce popílku 1 mm)

Zajímavým zjištěním při provádění měření bylo odhalení makroskopických heterogenních částic, při prosévání na síť o velikosti oka 1 mm, obsažených ve vzorku A3 – viz. Obrázek č. 31. Lze se domnívat, že by se pravděpodobně mohlo jednat o nespálené zbytky či části potrubí, kterým je popílek ve výrobním procesu transportován neboť se jednalo pravděpodobně o části skelné vaty, nespáleného uhlí, gumy apod.



Obr. č. 31: Zbytek na síť vel. oka 1 mm po přesytí vzorku A3

5.1.4 Stanovení viskozity

Pro vyjádření zpracovatelnosti mastixu bylo znovu provedeno stanovení viskozity avšak nově za pomoci dynamického smykového reometru avšak s využitím módu deska-deska. Měření bylo provedeno na teplotní rampě 165 až 150 °C, která zachycuje teplotní chování vzorků. Rozpětí teplotní rampy bylo zvoleno tak aby korespondovalo s technologickými podklady výrobního závodu – teplota směsi se ve výrobě pohybuje mezi 220 °C až 145 °C. Teplota 150 °C tvoří dolní hranici technologického procesu, kdy se viskozita mastixu projevuje jako kritický výrobní parametr – přiměřená zpracovatelnost.

Za aplikace stejného nastavení jako v předešlém měření vzorků RS018-A3 a RS019-A5 byla nyní stanovena viskozita. Za předpokladu vlivu technologie přípravy na kvalitu výsledků byl definován přesný postup přípravy viz. Tabulka č. 14.

Tab. č. 14: Postup přípravy vzorků mastixů

1.	Prosytí 50 g popílku na síť o velikosti oka 1 mm.
2.	Sušení upraveného popílku v peci při teplotě 130 °C po dobu 60 minut – uložení popílku v porcelánové misce Ø15 cm přikryté hliníkovou fólií, nutno každých 15 minut důkladně promíchat.
3.	Roztavení asfaltového pojiva v peci při teplotě 180 °C po dobu 30 minut – počátek v čase 45 minut od počátku sušení popílku, nutno alespoň jedenkrát promíchat.
4.	Rozehřátí porcelánové misky Ø11 cm a popílku v peci při na 180 °C po dobu 15 minut – počátek v čase 60 minut od počátku sušení popílku
5.	Rozehřátí topného hnízda na 2 stupeň bez regulace (odpovídá 180 °C) po dobu 15 minut – počátek v čase 60 minut od počátku sušení popílku.
5.	Vytemperování vah na porcelánovou misku Ø11 cm.
6.	Nadávkování asfaltového pojiva.
7.	Nadávkování popílku.
8.	Důkladné rozmíchání mastixu v topném hnízdu po dobu 5 minut.
9.	Odlití vzorků do silikonových formiček viz. Obrázek č. 32.
10.	Stanovení viskozity za pomoci dynamického smykového reometru v módu deska – deska na teplotní rampě 165 °C až 150 °C do 24 hodin od vytvoření vzorků – teplotní rampa má sestupnou tendenci.



Obr. č. 32: Připravený vzorek mastixu silikonové formě

Podle definovaného postupu byly připraveny vzorky RS027–A3 a RS028–A5 a jejich výsledné hodnoty byly porovnány s hodnotami měření vzorků RS018–A3 a RS019–A5. Z vyhodnocení měření uvedeného v Diagramu č. 19 je zřejmý fázový posun obou vzorků, což nasvědčuje správnosti hypotézy, že forma postupu přípravy má vliv na kvalitu výsledků.

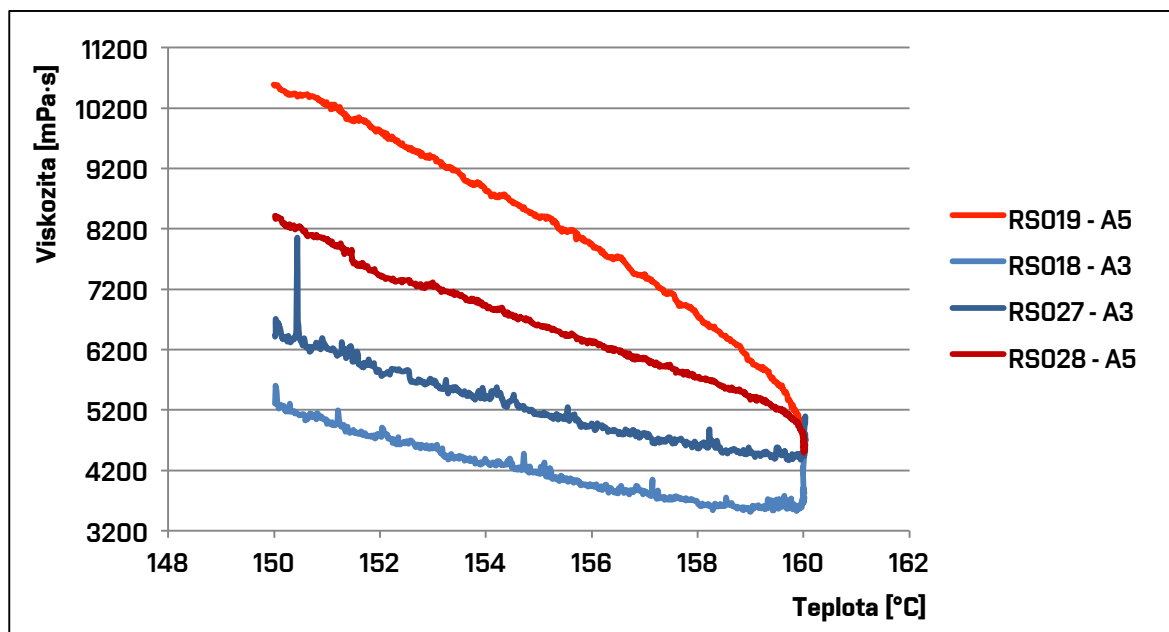


Diagram č. 19: Stanovení vlivu postupu přípravy na odchylky stanovení viskozity mastixů

Pro ověření vlivu formy postupu přípravy na kvalitu výsledků a zároveň ověření reprodukovatelnosti postupu přípravy uvedeného v Tabulce č. 14, byly zhotoveny vzorky RS029–A3 a RS030–A5. Jejich výsledné hodnoty byly pak porovnány s hodnotami měření vzorků RS027–A3 a RS028–A5 – viz. Diagram č. 20. Křivky výsledných hodnot měření vzorků A3 a A5 vykazovaly velmi podobný průběh. Výsledky dokazují, že zavedení definovaného postupu je nutné pro udržení kvality vzorků na stejné hladině. Zároveň byla také prokázána reprodukovatelnost postupu přípravy uvedeného v Tabulce č. 14.

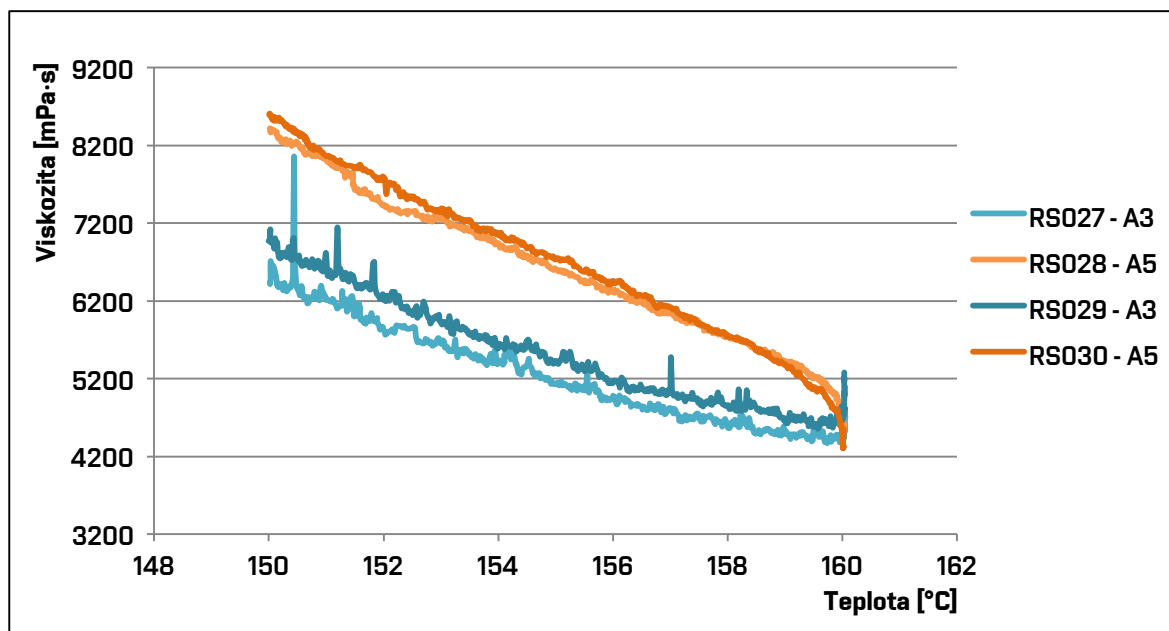


Diagram č. 20: Ověření reprodukovatelnosti postupu přípravy mastixů dle definovaného postupu

Pozorováním průběhu grafů měřených vzorků byly odhaleny dvě odlišné tendence. Všechny tři vzorky, obsahující popílek A5, vykazovaly počáteční prudce stoupající tendenci s následným pozvolně stoupajícím průběhem. Naopak všechny tři vzorky, obsahující popílek A3, vykazovaly počáteční prudce klesající tendenci s následným pozvolným stoupáním. To lze vysvětlit tím, že chování vzorku A3 představuje tokové přizpůsobení tvaru částic mastixu na počátku měření neboť jeho diagram vykazuje podobný průběh jako diagram vzorku mastixu s obsahem plniva s vysokým obsahem slídy (biotitu) viz. Diagram č. 21. Příčinou průběhu diagramu vzorků A5 by mohla být pravděpodobně deaglomerace shluků částic popílku v mastixu.

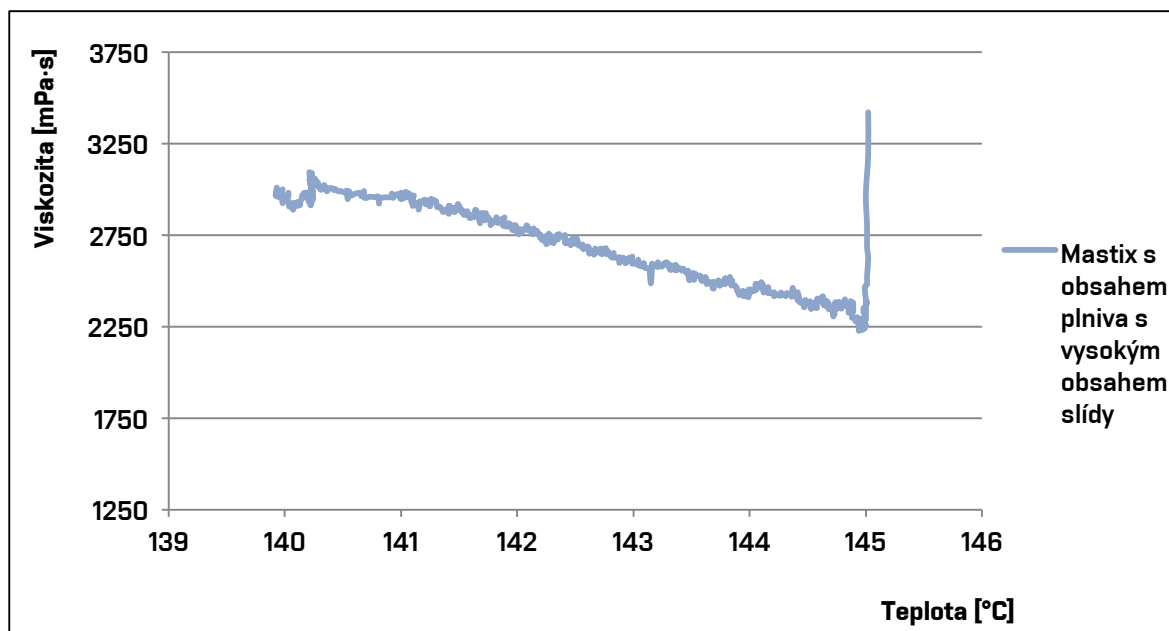


Diagram č. 21: Stanovení viskozity mastixu s obsahem plniva s vysokým obsahem slídy (biotit)

5.2 Analýza vlastností mastixů

Tato kapitola je věnována výsledkům získaným provedením analýzy vlastností mastixů na základě navržené metodiky zkoušení. Nejprve byly srovnávány vzorky mastixů typu A a poté byly srovnány jednotlivé druhy mastixů typu A až H. Pro srovnání výsledků jednotlivých druhů mastixů byl reprezentativním vzorkem souboru mastixů A zvolen vzorek A9, jelikož byl stanoven jeho chemický rozbor.

5.2.1 Stanovení bodu měknutí

Bod měknutí je uváděn jako jedna ze základních charakteristik asfaltových pojiv. Zkouška byla provedena pro ověření vhodnosti veličiny pro vyjádření zpracovatelnosti mastixů. Stanovení bylo provedeno s využitím neupravených vzorků popílku a bez aplikace definovaného postupu přípravy.

Výsledné hodnoty bodu měknutí vzorků mastixů A nevykazovaly výrazné rozdíly – rozdíl nejvyššího a nejnižšího bodu měknutí mastixů A byl pouze 6 °C – viz. Diagram č. 22. Na základě těchto výsledků se usuzuje nevhodnost použití veličiny bodu měknutí pro vyjádření rozdílů ve zpracovatelnosti.

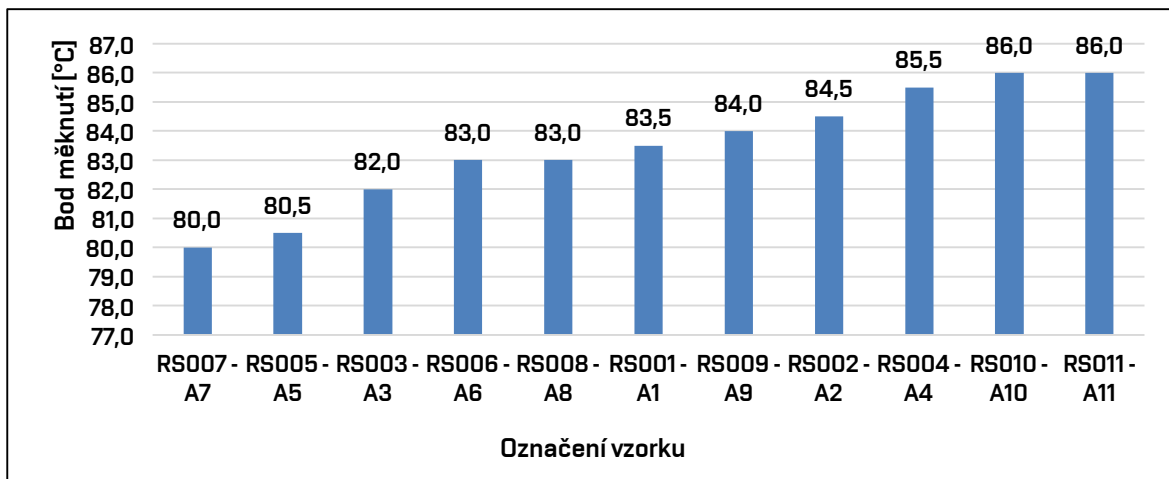


Diagram č. 22: Stanovené hodnoty bodu měknutí vzorků mastixů A

Srovnáním výsledků měření bodu měknutí jednotlivých druhů mastixů A až H bylo zjištěno, že mastixy C a G vykazovaly velmi vysoký bod měknutí oproti ostatním druhům – viz. Diagram č. 23. Mastix H nevykazoval po zamísení kompaktní strukturu a stanovení bodu měknutí u něj nebylo možné provést – viz. Obrázek č. 33. Pro vytvoření směsi na bázi popílku H by byl zapotřebí vyšší podíl asfaltu ve směsi. Je pravděpodobné, že důvodem chování mastixů C a H byla vysoká porozita vzorků popílků, jejímž následkem byla zvýšená nasákavost popílku a tedy i spotřeba asfaltového pojiva. Vizuální vzhled mastixů B, C, D, E, F, G a H lze pozorovat na Obrázku č. 34.

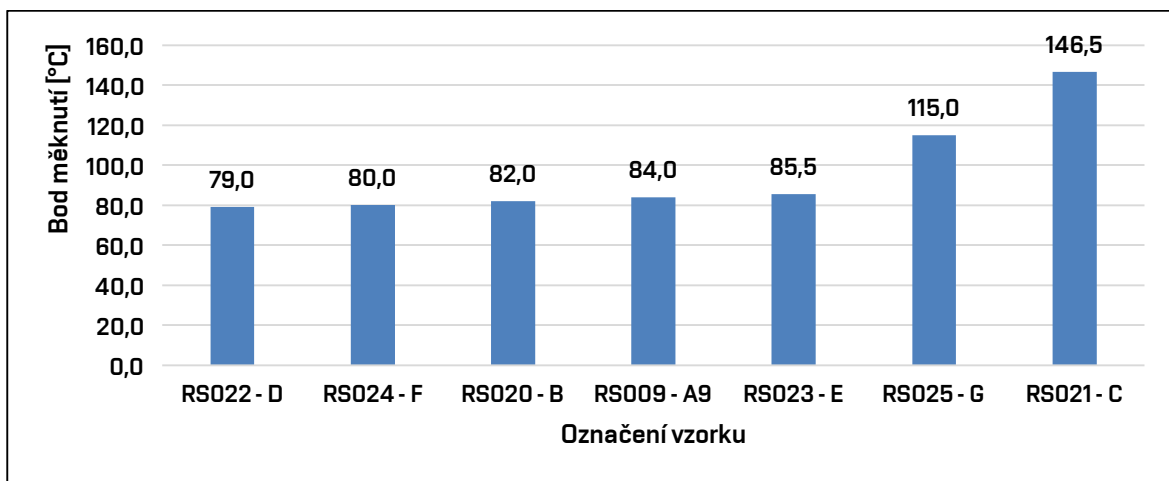


Diagram č. 23: Stanovené hodnoty bodu měknutí vzorků mastixů A9, B, C, D, E, F, G, H



Obr. č. 33: Mastix H



Obr. č. 34: Vzhled mastixů D, F, C, B, G, H, E (zleva)

Na základě zjištěných vlastností popílků C a H v Etapě I. a vlastností mastixů C a H z nich připravených, se lze domnívat, že popílký pocházející z fluidního spalování nejsou vhodnou alternativou pro výrobu OAIP. Následkem zvýšené nasákavosti popílků je zvýšená spotřeba asfaltového pojiva, která představuje zvýšení výrobních nákladů OAIP. Rovněž se lze domnívat, že popílek G není vhodnou alternativou pro výrobu OAIP ze stejných důvodů ačkoliv nepochází z fluidního spalování.

5.2.2 Stanovení penetrace jehlou

Stanovení hodnoty penetrace patří mezi jednu ze základních zkoušek pro charakterizaci asfaltových pojiv. Tuto metodu lze za určitých podmínek použít jako doplňkovou informaci ke stanovení bodu měknutí i v případě mastixu. Provedená série měření měla ověřit vhodnosti této veličiny pro popis zpracovatelnosti mastixů. Stanovení bylo provedeno na sérii vzorků mastixu připravených na bázi neupravených vzorků popílku a bez aplikace definovaného postupu přípravy mastixu. Vytemperovaný vzorek pro stanovení penetrace jehlou je vidět na Obrázku č. 35

Podle očekávání výsledné hodnoty penetrace jehlou vzorků mastixů A vykazovaly výraznější rozdíly než bod měknutí – rozdíl nejvyšší a nejnižší hodnoty penetrace jehlou mastixů A byl 6 p.j. (=0,1 mm) viz. Diagram 24. Přesto však tyto hodnoty nebyly shledány natolik vypovídající, aby mohla být hodnota penetrace jehlou označena za optimální parametr k vyjádření rozdílů zpracovatelnosti mastixů.



Obr. č. 35: Vytemperovaný vzorek pro stanovení penetrace jehlou

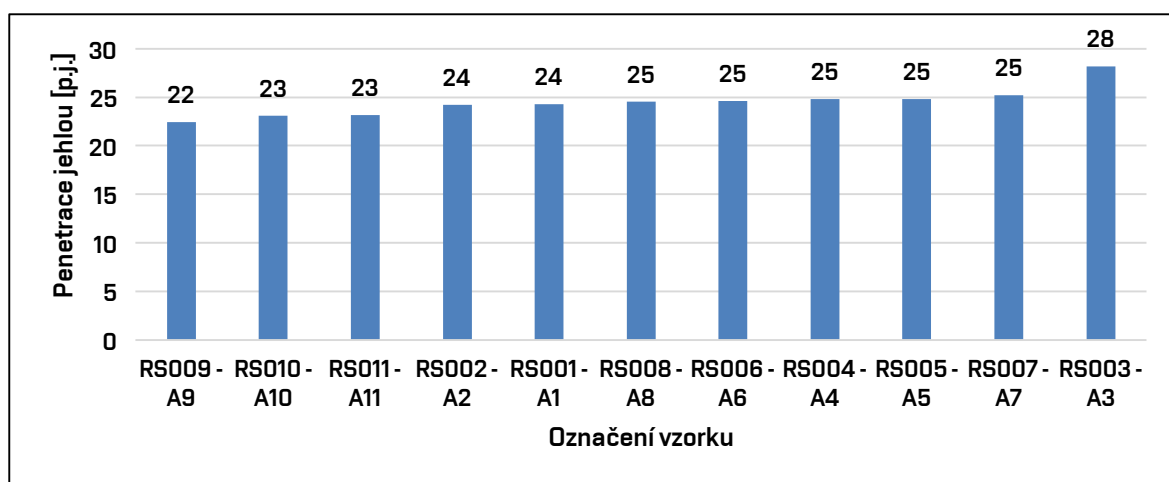


Diagram č. 24: Stanovené hodnoty penetrace jehlou vzorků mastixů A při teplotě 25 °C

Srovnáním výsledků měření penetrace jehlou jednotlivých druhů mastixů A až H bylo zjištěno, že mastixy C a G vykazovaly nízkou hodnotu penetrace jehlou oproti ostatním druhům mastixů viz. Diagram č. 25. Stanovení penetrace jehlou vzorku mastixu H nebylo provedeno z důvodů uvedených v bodě 5.2.1. Je pravděpodobné, že důvodem chování mastixů C a H byla vysoká porozita vzorků popílků, jejímž následkem byla zvýšená nasákavost popílku a tedy i spotřeba asfaltového pojiva. Vytemperovaný vzorek pro stanovení penetrace jehlou je vidět na Obrázku č. 33.

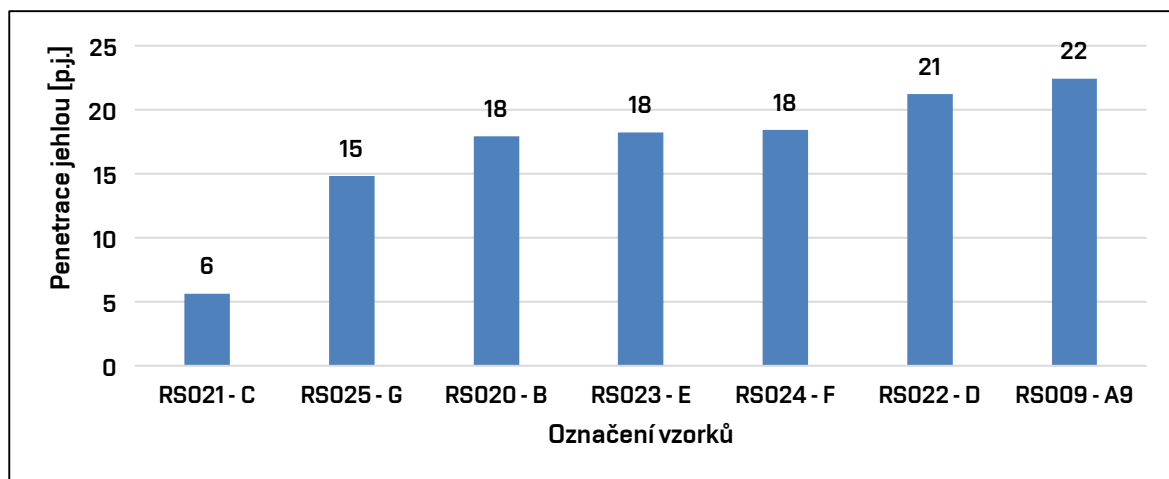


Diagram č. 25: Stanovené hodnoty penetrace jehlou vzorků mastixů A9, B, C, D, E, F, G, H při teplotě 25 °C

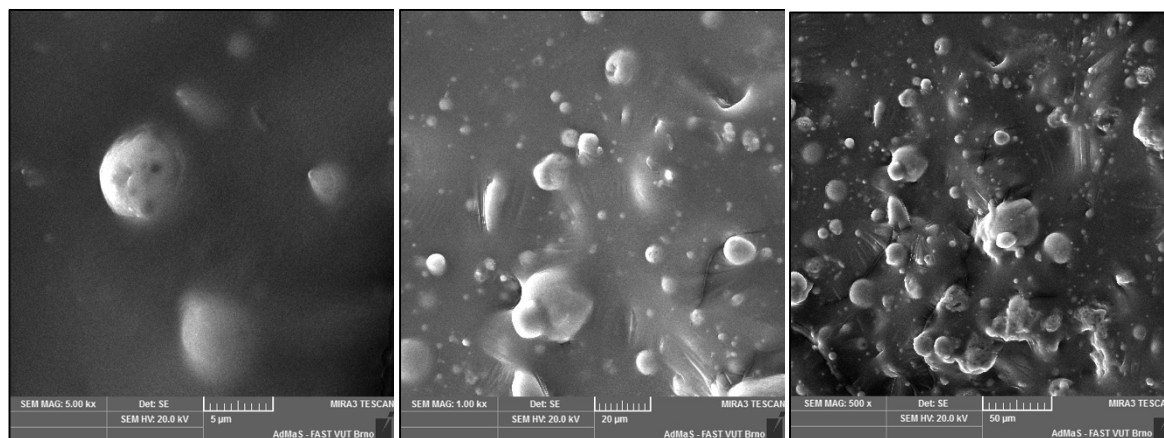
Na základě zjištěných vlastností popílků C a H v Etapě I. a vlastností mastixů C a H z nich připravených, se lze domnívat, že popílky pocházející z fluidního spalování nejsou vhodnou alternativou pro výrobu OAIP. Následkem zvýšené savosti popílků je zvýšená spotřeba asfaltového pojiva, která představuje zvýšení výrobních nákladů OAIP. Rovněž se lze domnívat, že popílek G není vhodnou alternativou pro výrobu OAIP ze stejných důvodů ačkoliv nepochází z fluidního spalování.

5.2.3 Snímky vnitřní struktury mastixu

Pro ověření interakce popílku s asfaltem byly provedeny snímky s využitím elektronového mikroskopu (SEM) a vysokorychlostní kamery. Snímkování bylo provedeno na vzorcích vytvořených pro stanovení bodu měknutí a penetrace jehlou.

5.2.3.1 Snímky z elektronového mikroskopu

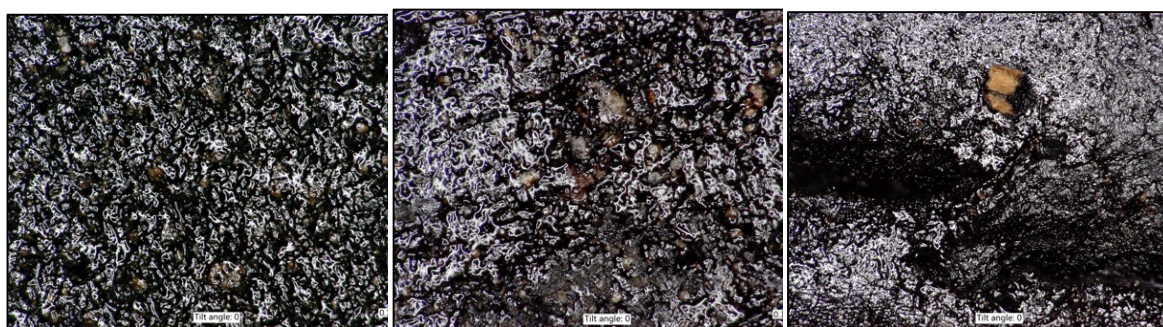
Pomocí elektronového mikroskopu byly provedeny snímky mikrostruktury vzorku RS005–A5 s rozlišením 5, 20 a 50 μm – viz. Tabulka č. 12. Na snímku s rozlišením 5 μm (vlevo) jsou pozorovatelné zrna popílku řádně obalená asfaltem – viz. Obrázek č. 36. Při pozorování snímků s rozlišením 20 a 50 μm (uprostřed a vpravo) lze však pozorovat aglomerovaná zrna popílku vytvářející určité shluky v mastixu. To nasvědčuje teorii uvedené v bodě 5.1.4. proč mastix obsahující popílek A5 vykazoval počáteční prudce stoupající tendenci diagramu.



Obr. č. 36: Snímky mikrostruktury vzorku mastixu RS005-A5 s rozlišením 5, 20 a 50 μm (zleva)

5.2.3.2 Snímky z vysokorychlostní kamery

Pomocí vysokorychlostní kamery byly provedeny snímky povrchu mastixů RS003-A3, RS005-A5 a RS011-A11 s rozlišením 0,10 mm – označení vzorků viz. Tabulka č. 12. Makroskopické částice popílku se na snímcích jeví pravidelně rozptýleny ve hmotě – viz. Obrázek č. 37. Provedením snímku vzorku RS003-A3 (vpravo) byla odhalena makroskopická heterogenní částice uvnitř hmoty podobná částicím, které byly objeveny prosetím vzorku popílku A3. Vliv těchto částic na charakter mastixu nebyl ověřen. Předpokládá se však, že tyto částice mohou být možnou příčinou například zvýšené nasákavosti vzorku popílku A3.



Obr. č. 37: Snímky makrostruktury vzorků mastixů RS005-A5, RS011-A11 a RS003-A3 s rozlišením 0,10mm (zleva)

5.2.4 Stanovení viskozity

Stanovení viskozity vybraných vzorků mastixů bylo provedeno na základě navržené metodiky zkoušení v bodě 5.1.4. Pro umožnění vyhodnocení výsledných hodnot viskozit jednotlivých vzorků byly stanoveny viskozity vybraných laboratorně připravených vzorků a dále provozně vyrobených vzorků.

5.2.4.1 Stanovení viskozity mastixů A až H

Byla stanovena viskozity vybraných vzorků mastixů typu A a vzorků B, D E, F a G. Princip výběru vzorků popílku typu A pro zhotovení mastixů byl stanoven na základě podobnosti měrných povrchů a současně maximálního rozdílu hodnot pH výluhu těchto popílku – vybrané vzorky jsou uvedeny v Tabulce č.15 a dvojice zkoušených vzorků jsou označeny stejnou barvou.

Tab. č. 15: Výběr vzorků popílku A pro zhotovení mastixů pro stanovení viskozity

Označení popílku	Měrný povrch [cm ² ·g ⁻¹]	pH [-]	Prostředí
A27	2675	3,35	ACIDICKÉ
A26	2970	3,56	
A29	2740	3,62	
A19	2740	3,68	
A11	2840	3,69	
A28	2540	3,80	
A24	2510	3,83	
A23	2665	3,85	
A22	2665	4,11	
A25	2730	4,12	
A21	2605	4,22	
A30	2610	4,39	
A9	3030	4,45	
A10	2810	4,60	
A8	3060	4,95	
A3	4500	6,21	BAZICKÉ
A1	3260	9,04	
A4	2960	9,22	
A2	2680	9,39	
A5	2410	9,81	
A7	2650	10,52	
A6	2590	10,55	
A20	2335	10,93	

Pro účel srovnání testovaných vzorků byly odečteny hodnoty viskozity při teplotě 155 °C. Hlavním důvodem zvolení této teploty byla její poloha uprostřed původně zvolené teplotní rampy – počáteční měření byla provedena na teplotní rampě 160 až 150 °C. Dalším důvodem byl výrazně delší počáteční nárůst viskozity vzorku B – viz. Diagram č. 30. Na základě průběhu diagramu mastixu B se lze domnívat, že byl tento nárůst způsoben deaglomerací shluků popílku v mastixu.

Výsledné hodnoty viskozity vzorků mastixů A vykazovaly poměrně dramatické rozdíly – rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou byl 2923 mPa·s – viz. Diagram č. 26. Teplotní chování vzorků je vyjádřeno zobrazením hodnot na teplotní rampě 165 až 150 °C v Diagramu č. 27. Průběhy diagramů jednotlivých vzorků indikují rozdělení vzorků na 2, téměř stejně velké,

soubory. Vzorky mastixů E, RS038 – A23, RS040 – 28, RS041 – A6, RS042 – A4, RS043 – A26 vykazovaly podobný průběh grafu jako mastix RS029 – A3. Vzorky mastixů B, D, F, RS036 – A27, RS037 – A2, RS039 – A7, RS047 – A9, vykazovaly podobný průběh jako mastix RS030 – A5. Na základě toho lze soudit, že příčinou rozdílného průběhu diagramů, jsou s největší pravděpodobně rozdílné tvary částic popílků. Lze předpokládat, že odlišnost geometrického tvaru částic popílku by mohla být způsobena odlišným chemickým složením.

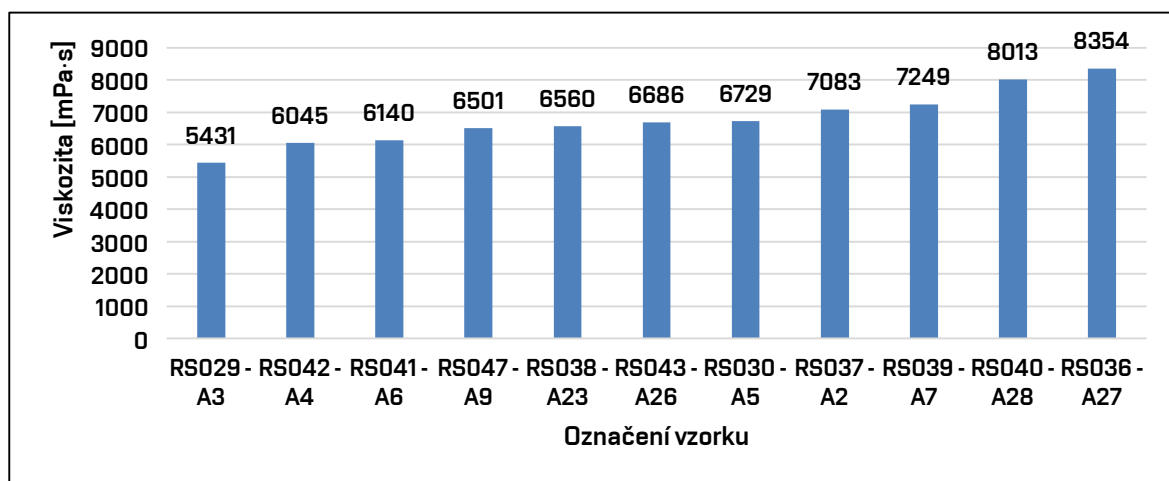


Diagram č. 26: Stanovené hodnoty viskozity vzorků mastixů A při teplotě 155 °C

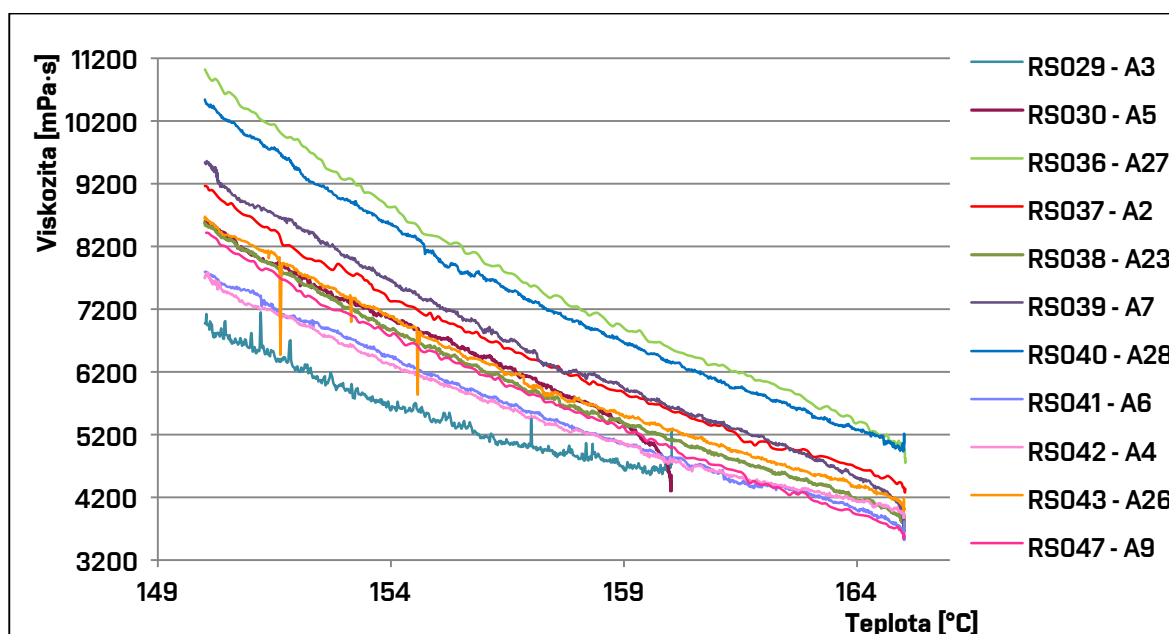


Diagram č. 27: Stanovené hodnoty viskozit vzorků mastixů A na teplotní rampě 165 až 150 °C

Vzorek mastixu G vykazoval vysokou tuhost již během přípravy. Z toho důvodu byla teplotní rampa posunuta o 20 °C nahoru – 180 až 160 °C. Přesto se však stanovení viskozity mastixu G nepodařilo provést. V Diagramu č. 28 je znázorněno srovnání vzorku mastixu G a ostatních

vzorků. Nepravidelný průběh křivky vzorku mastixu G má za příčinu utržení vzorku v měřicím ústí. Na základě předchozích výsledků bodu měknutí a penetrace a neúspěšného stanovení viskozity lze usuzovat, že popílek G není vhodná pro výrobu OAIP.

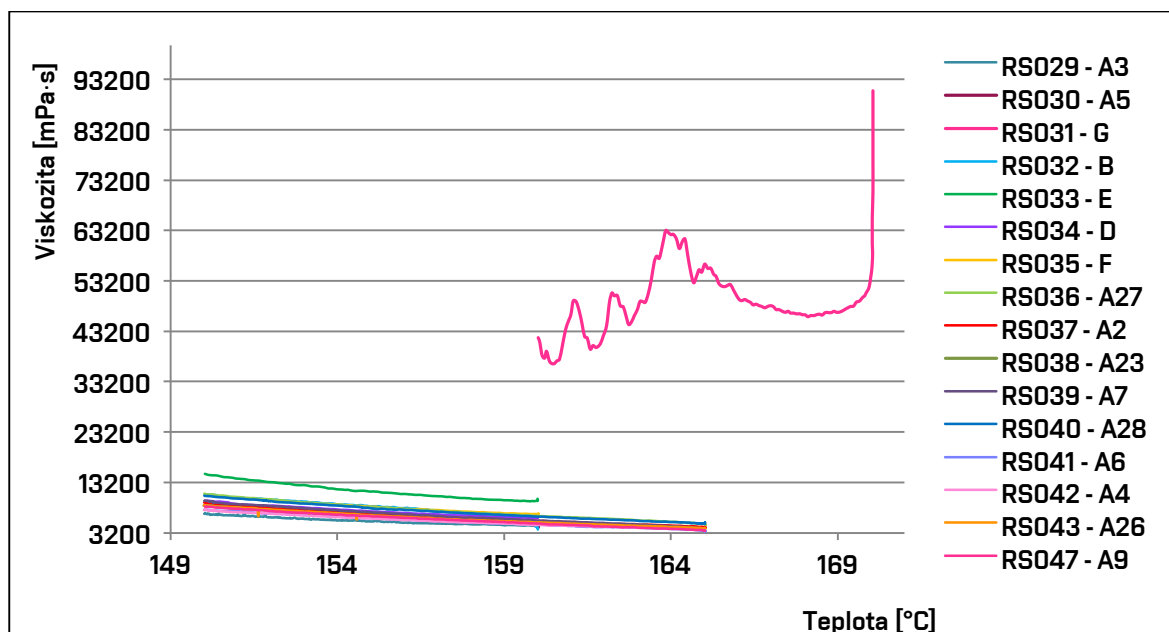


Diagram č. 28: Stanovené hodnoty viskozit vzorků všech mastixů na teplotní rampě 165 až 150 °C

Srovnáním výsledků měření viskozity jednotlivých druhů mastixů A až H byly zjištěny výrazné rozdíly mezi jednotlivými druhy viz. Diagram č. 29. Mastix E vykazoval výrazně vyšší viskozitu oproti ostatním vzorkům. Mastix A dosáhl nejnižší viskozity. Chování vzorků bylo vyjádřeno pomocí zobrazení hodnot na teplotní rampě 165 až 150 °C v Diagramu č. 30. Průběhy diagramů jednotlivých vzorků indikují rozdělení vzorků na 2 soubory. Vzorky mastixů B a E vykazovaly podobný průběh viskozit jako mastix RS029-A3. Vzorky mastixů D a F vykazovaly podobný průběh viskozit jako mastix RS030-A5. Výsledky nasvědčují informacím zjištěným analýzou vlastností mastixů A o rozdílnosti tvaru částic popílků. Na základě stanovení viskozity vybraných vzorků se popílků B, D, E a F nejeví vhodné jako alternativa pro výrobu OAIP.

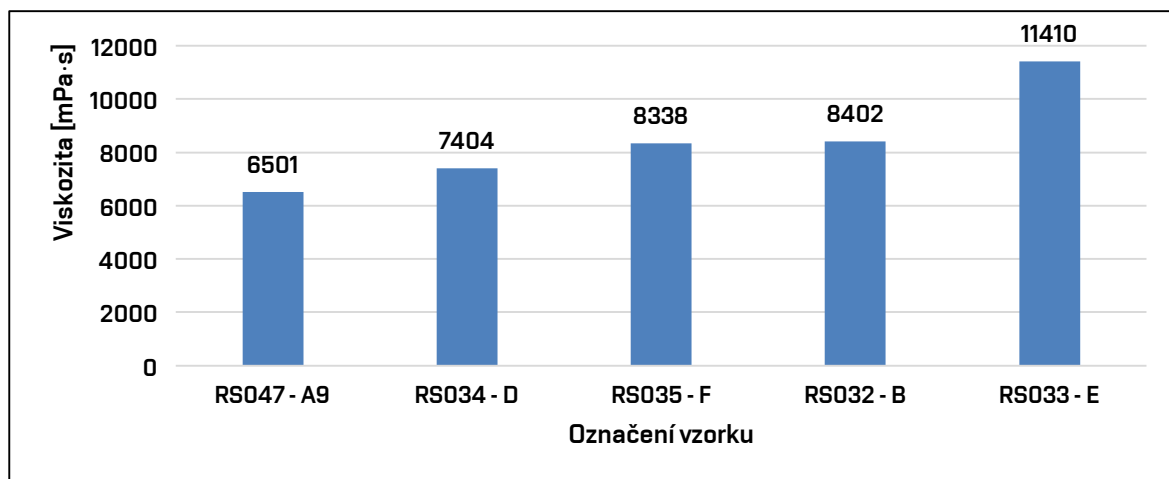


Diagram č. 29: Stanovené hodnoty viskozity vzorků mastixů A9, B, D, E a F při teplotě 155 °C

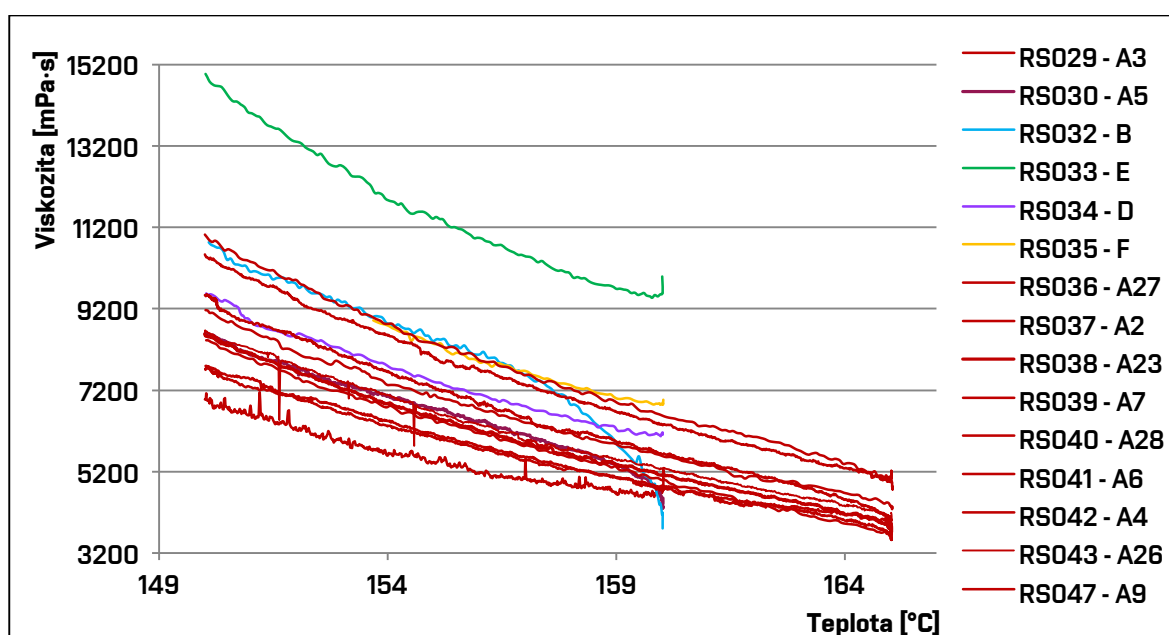


Diagram č. 30: Stanovené hodnoty viskozit vzorků všech mastixů bez mastixu G na teplotní rampě 165 až 150 °C

5.2.4.2 Stanovení viskozity mastixů odebraných ve výrobě

Za účelem zhodnocení stanovených viskozit v části 5.2.4.1 byly ve výrobním závodě na základě rozdílných receptur zhotoveny 3 druhy mastixů. Receptura C, se složením uvedeným v Tabulce č. 16, byla aplikována do roku 2014. Poté byl výrobní závod nucen od této receptury upustit, protože výrobní směs z neznámých důvodů občasně začala vykazovat zvýšenou viskozitu. Této výrobní receptury by výrobní závod opět v budoucnu rád dosáhl. Receptura L, se složením uvedeným v Tabulce č. 17, představuje maximální hodnotu viskozity, která je pro výrobní závod přípustná. Poslední vzorek byl zhotoven dle receptury A a sloužil jako vzorek

kontrolní. Jednotlivé mastixy byly po doručení z výroby, rozeřhřaty v laboratorní peci při 180 °C, následně přepasírovány přes síto s velikostí ok 1 mm, a nakonec z nich byly připraveny finální vzorky. V této části práce byla stanovena viskozita provozně zhotovených vzorků.

Tab. č. 16 : Receptura C pro výrobu mastixu

Složka	Podíl [%]
popílek	63,69
Směs asfaltů ASF+AOSI	36,31

Tab. č. 17: Receptura L pro výrobu mastixu

Složka	Podíl [%]
popílek	59,86
Směs asfaltů ASF+AOSI	40,14

Na základě zjištěných hodnot viskozity provozně vyrobených vzorků byly rozčleněny laboratorně zhotovené vzorky mastixů – viz. Diagram č. 33. Ze všech zhotovených vzorků splnilo limit zhotovitelnosti, daný viskozitou provozního vzorku RS045, celkem 8 vzorků popílku A. Kontrolní vzorek RS044 potvrdil správnost měření, protože splnil požadavek limitní hodnoty viskozity. Všechny vzorky mastixů s viskozitou vyšší než vykazoval vzorek RS045 by za momentálně nastavených podmínek nebylo možné vyrobit. Mastix E vykazoval viskozitu vyšší než byla hodnota vzorku vyrobeného dle receptury C, což vyjadřuje jeho enormní hodnotu viskozity. Z výsledků vyplývá, že vhodným popílkem pro OAIP je pouze druh A.

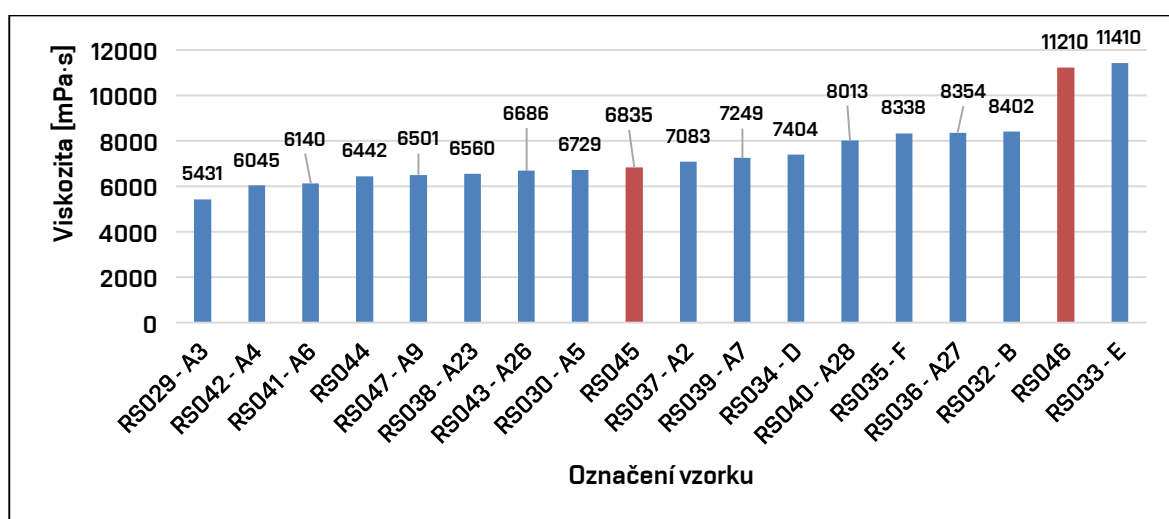


Diagram č. 31: Stanovené hodnoty viskozity laboratorně a provozně připravených vzorků při teplotě 160 °C

5.3 Závěr Etapy II

Optimální veličinou pro vyjádření rozdílností zpracovatelnosti mastixů byla zvolena viskozita. Následně byla navržena metodika zkoušení této veličiny – byla stanovena úprava vzorku popílku pro vytvoření mastixu jeho prosetím na síť 1 mm a také byl zaveden jednotný postup přípravy a měření vzorků uvedený v Tabulce č. 14. Stanovení viskozity vzorků mastixu bylo provedeno za pomoci dynamického smykového reometru Kinexus pro+ (Malvern Panalytica) v módu deska – deska, na teplotní rampě 165 °C až 150 °C.

Provedením analýzy vlastností vzorků mastixů A byly zjištěny níže uvedené skutečnosti.

- Stanovené hodnoty bodu měknutí nevykazovaly výrazné rozdíly mezi jednotlivými vzorky.
- Stanovené hodnoty penetrace jehlou nevykazovaly výrazné rozdíly.
- Na základě zjištěné mikrostruktury mastixu RS005 – A5 elektronovým mikroskopem se odhaduje přítomnost aglomerace částic popílku A5.
- Zobrazením makrostruktury mastixů RS003–A3, RS005–A5 a RS011–A11 vysokorychlostní kamerou byly ve struktuře mastixu RS003 – A3 odhaleny makroskopické heterogenní částice podobné částicím, které byly odhaleny při úpravě vzorku A3 prosetím na síť velikosti oka 1 mm – označení vzorků viz. Tabulka č. 12.
- Stanovením viskozity vzorků při teplotě 155 °C byly odhaleny výrazné rozdíly tuhosti mastixů.

Na základě stanovení viskozity provozně zhotovených vzorků byl stanoven limit zhotovitelnosti mastixů a konečná viskozita, které by výrobní závod v budoucnu měl dosáhnout. Bylo zjištěno, že pouhých 8 ze 16 stanovených vzorků splnilo limit zhotovitelnosti nastavený vzorkem RS045 – jednalo se pouze o vzorky mastixu A. Viskozita mastixů E a G byla ještě vyšší než cílová viskozita, které by výrobní závod rád v budoucnu dosáhl, což vyjádřilo nevhodnost popílku pro využití ve výrobě OAIP z důvodu jejich příliš vysokého ztužovacího efektu.

Vzhledem k vysokému ztužovacímu efektu, který vykazovaly během přípravy vzorků, byly popílky C a H označeny jako nevhodné pro výrobu asfaltových izolačních pásů. Na základě výsledků viskozity byly dále označeny za nevhodné vzorky E a G – stanovení viskozity mastixu se nepodařilo z důvodu jeho vysoké tuhosti a mastix E vykazoval ještě vyšší viskozitu než vykazoval vzorek zhotovený podle cílové receptury.

Analýzou průběhu měření viskozity všech vzorků byly odhaleny dvě odlišné tendence chování vzorků. U jednoho souboru pravděpodobně docházelo na počátku měření k deaglomeraci. U druhého souboru bylo zaznamenáno pravděpodobné tokové přizpůsobení tvaru částic mastixu na počátku měření. To lze vysvětlit rozdílným tvarem částic zkoušených popílků.

6 Etapa III: Analýza vlivu vlastností popílků na zpracovatelnost mastixů pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů

Ve třetí etapě byly zkoumány vztahy vlastností popílků a mastixů s cílem ověřit vliv vlastností popílku na zpracovatelnost mastixu. Vlastnosti popílků s předpokládaným vlivem na zpracovatelnost byly vybrány na základě provedených analýz v I. a II. Etapě. Následně byly zjišťovány závislosti mezi vybranými vlastnostmi popílku a viskozitou mastixu, vyjadřující jeho zpracovatelnost.

6.1 Výběr parametrů popílku s předpokládaným vlivem na zpracovatelnost

Všechny testované vzorky splnily normový limit pro ztrátu sušením. Výsledné hodnoty měření ztráty sušením a ztráty žíháním vykazovaly všeobecně velmi nízký podíl volné vody ve vzorcích. Na základě toho se lze domnívat, že obsah vody ve vzorku nebude mít pravděpodobně výrazný vliv na zpracovatelnost mastixu.

Při stanovení sypné a měrné hmotnosti popílků byly odhaleny poměrně dramatické odchylky některých vzorků. Lze se domnívat, že tyto odchylky mohou být způsobeny odlišnou granulometrií, pórovitostí či chemickým složením.

Granulometrický rozbor a zobrazení mikrostruktury popílku ukázalo výrazné rozdíly distribuce částic jednotlivých vzorků. Zejména z pohledu obsahu velmi jemných částic, což se pravděpodobně projeví v rozdílné zpracovatelnosti mastixů – větší povrch částic na sebe váže více asfaltového pojiva. Lze se domnívat, že v problematice zpracovatelnosti mastixu bude

granulometrie a její transformované vyjádření pomocí velikosti měrného povrchu důležitou součástí komplexního popisu systému.

Měrný povrch vykazoval ještě dramatičtější rozdíly než granulometrický rozbor. Vedle granulometrie by měla hrát významnou roli také pórovitost.

Transformované stanovení pórovitosti za pomoci **nasákavosti** ukázalo podobně významné odchytky některých vzorků. Obecně však lze konstatovat, že hodnoty nasákavosti byly velmi nízké a nasákavost tak bude mít pravděpodobně zanedbatelný vliv na výslednou zpracovatelnost mastixu.

Charakter popílku po chemické stránce vyjádřený **pH výluhem** představoval až extrémní odchytky hodnot. Vzorky vykazovaly jednak silně kyselý charakter, tak i silně zásaditý. Jeví se jako pravděpodobné, že tento charakter bude mít rovněž vliv na výslednou zpracovatelnost mastixu.

Vzhledem k rozdílnosti charakteru pH výluhu lze předpokládat i pravděpodobný vliv **chemického složení** popílku na zpracovatelnost popílku.

6.2 Analýza závislosti viskozity a parametrů popílku s předpokládaným vlivem na zpracovatelnost

V následující podkapitole je popsána analýza závislostí viskozity mastixu a parametrů popílku s předpokládaným vlivem na zpracovatelnost mastixu, definovaných v bodě 6.1.

6.2.1 Závislost viskozity mastixu na granulometrii popílku

Diagramy závislosti viskozity na obsahu jemných částic do 0,063 mm a 0,125 mm nevykazovaly konkrétní závislost - viz. Diagram č. 34 a Diagram č. 35. Změny viskozity mastixu pravděpodobně nebudou řízeny podílem jemných částic popílku.

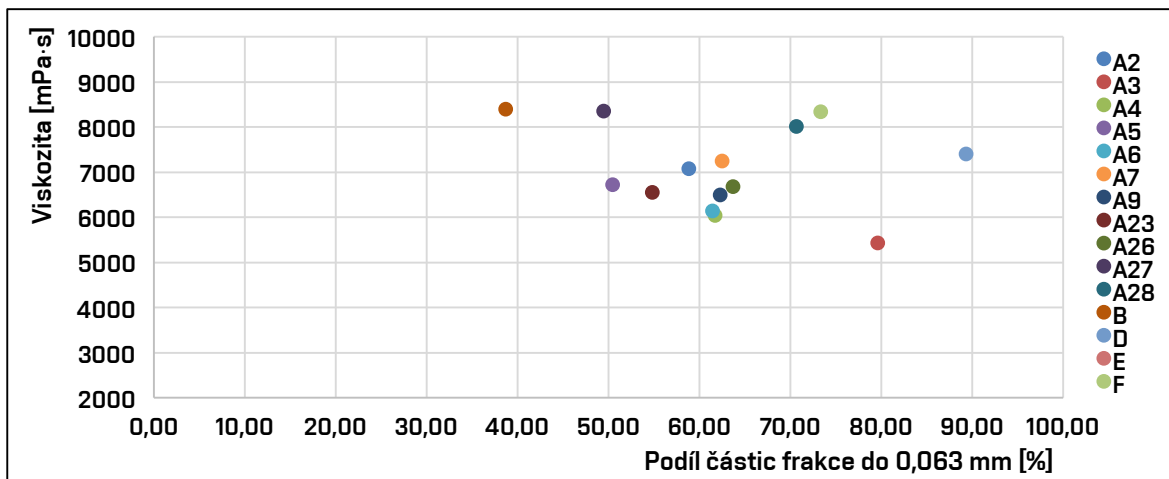


Diagram č. 32: Závislost viskozity mastixu na podílu částic popílku – frakce do 0,063 mm

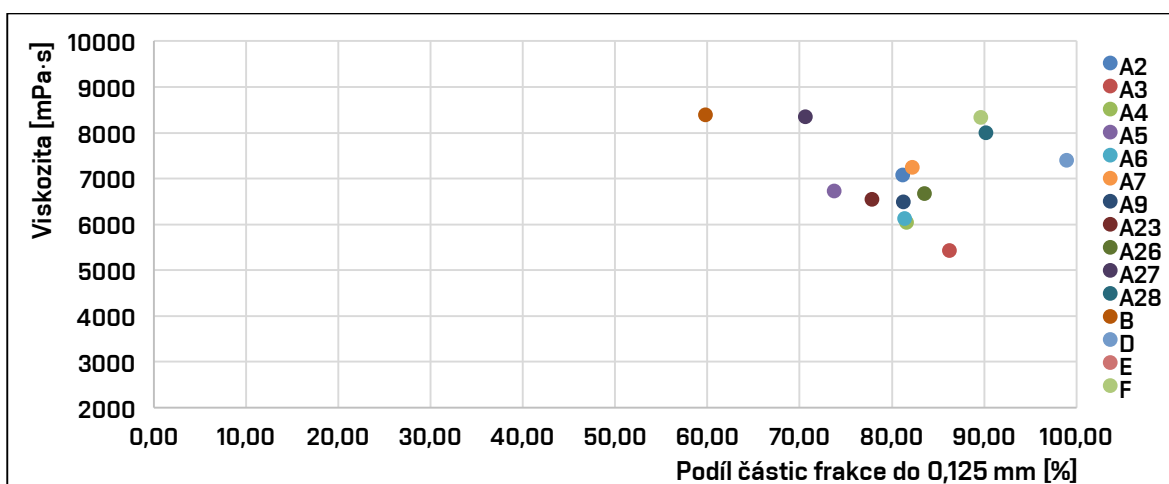


Diagram č. 33: Závislost viskozity mastixu na podílu částic popílku – frakce do 0,125 mm

6.2.2 Závislost viskozity mastixu na nasákavosti popílků

Na základě vyhodnocení závislosti viskozity mastixu na pórovitosti popílku transformovaně vyjádřené pomocí nasákavosti, je pravděpodobné, že rozdíly pórovitosti jsou ve vztahu k výrazným odchýlkám viskozity zanedbatelné – vyjma popílku B, se všechny vzorky nachází ve stejné části grafu – viz. Diagram č. 36. Jeví se pravděpodobné, že nasákavost nebude mít výrazný vliv na viskozitu mastixu. Zároveň se však lze domnívat, že vyjádření granulometrie a pórovitosti transformovaně pomocí měrného povrchu se jeví jako účelné.

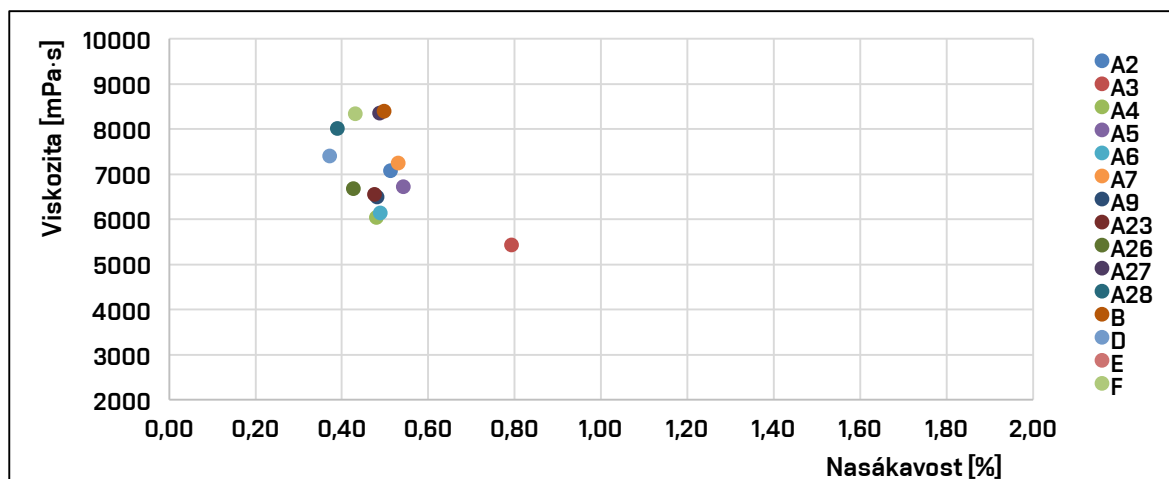


Diagram č. 34: Závislost viskozity mastixu na nasákavosti popílku

6.2.3 Závislost viskozity mastixu na měrném povrchu popílku

Z Diagramu č. 37, který znázorňuje závislost viskozity mastixu na měrném povrchu není zřejmá žádná konkrétní tendence. Zdá se tedy, že měrný povrch nepředstavuje řídicí parametr viskozity.

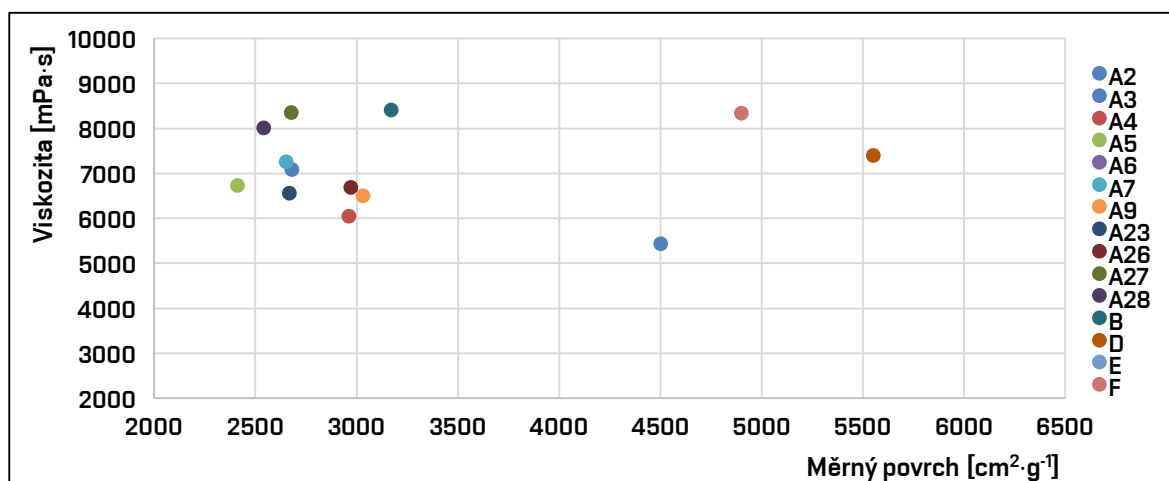


Diagram č. 35: Závislost viskozity mastixu na měrném povrchu popílku

6.2.4 Závislost viskozity mastixu na hodnotě pH výluhu popílku

Vzhledem k vysokým rozdílům hodnot pH výluhu jednotlivých vzorků popílku byla provedena rovněž analýza závislosti viskozity mastixu na pH výluhu popílku. Soubor však opět nevykazoval tendenci, která by prokázala významný vliv pH výluhu popílku na viskozitu mastixu – viz. Diagram č. 38. Hodnota pH výluhu popílku tedy pravděpodobně není řídicím parametrem viskozity mastixů.

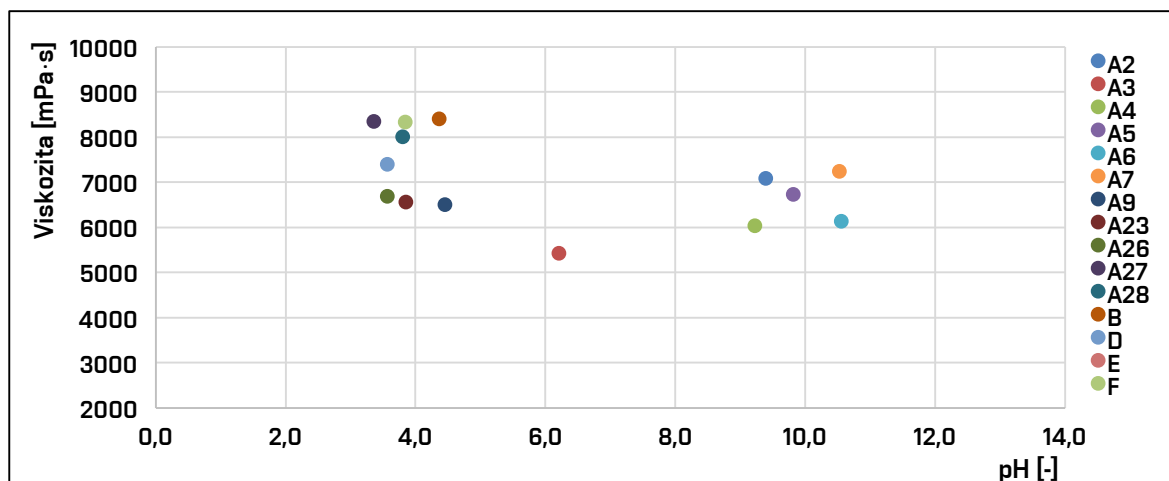


Diagram č. 36: Závislost viskozity mastixu na hodnotě pH výluhu popílku

6.2.5 Závislost viskozity mastixu na chemickém složení popílku

Vzhledem k výrazným rozdílům pH výluhu popílku, u kterého se odhaduje, že jeho příčinou by mohla být přítomnost amoniaku pocházející z procesu denitrifikace, byly také sestrojeny závislosti viskozity na majoritně zastoupených složkách obsažených popílku.

První zkoumanou závislostí byl vliv podílu množství SiO_2 ve vzorku popílku na viskozitu mastixu – viz. Diagram č. 39. Část výsledků inklinovala k přímé závislosti na obsahu SiO_2 . Vzorky A9 a B však tuto teorii nepotvrdily. Zdá se tak pravděpodobné, že viskozita mastixů bude závislá na jiném parametru.

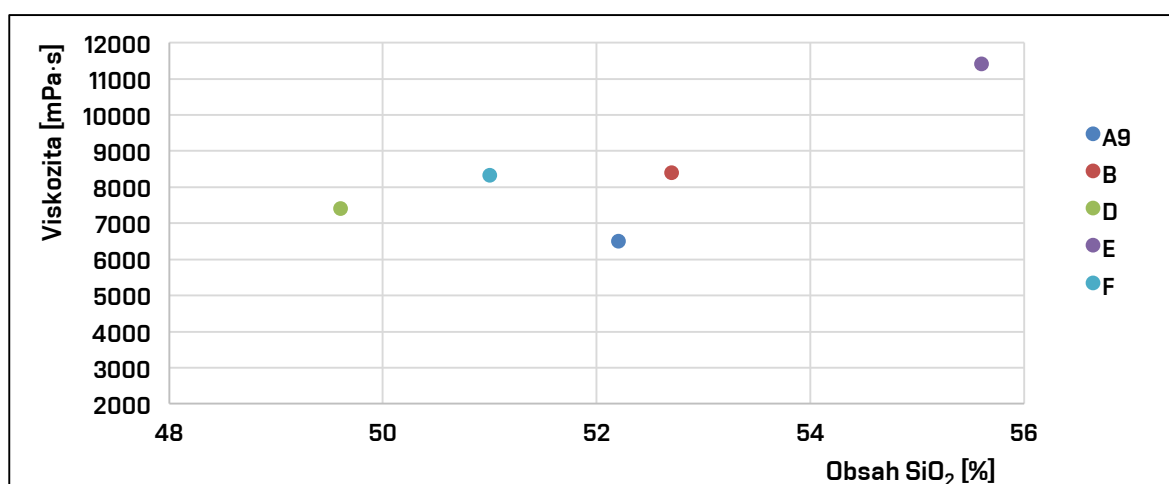


Diagram č. 37: Závislost viskozity mastixu na obsahu SiO_2 v popílku

Zkoumáním vlivu výše podílu Al_2O_3 ve vzorku popílku na viskozitu mastixu část statistického souboru prokázala tendenci zvyšování viskozity mastixu se snižujícím množstvím

obsahu Al_2O_3 v popílku – viz. Diagram č. 40. Hodnota popílku D a E tuto hypotézu nepotvrdila. Zdá se tedy, že viskozita mastixů bude řízena jiným parametrem.

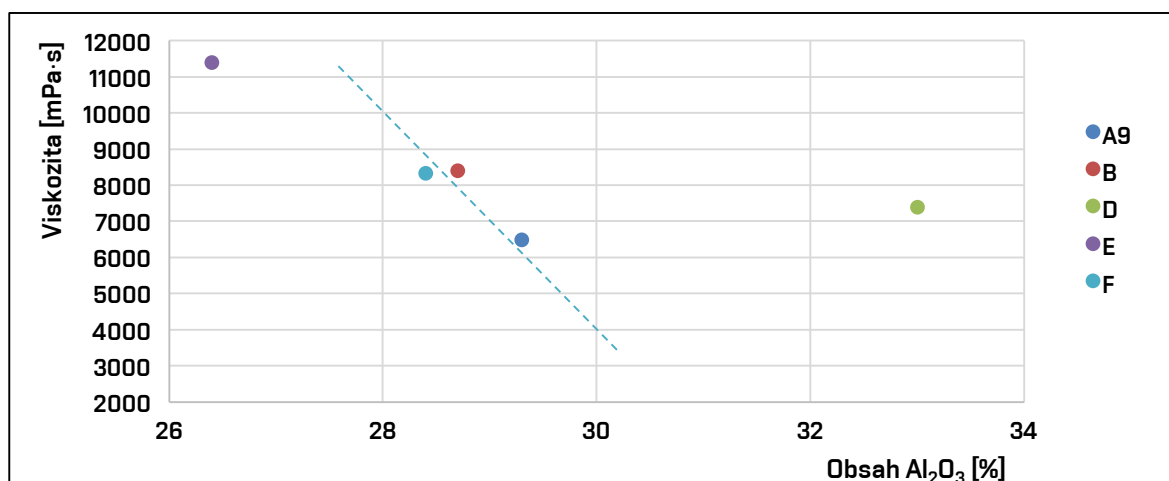


Diagram č. 38: Závislost viskozity mastixu na obsahu Al_2O_3 v popílku

Při analýze vlivu výše podílu Fe_2O_3 ve vzorku popílku na viskozitu mastixu nevykazoval statistický soubor jednotnou ani partikulární tendenci – viz. Diagram č. 41. Zdá se, že obsah Fe_2O_3 v popílku také nebude parametrem řídící viskozitu mastixu.

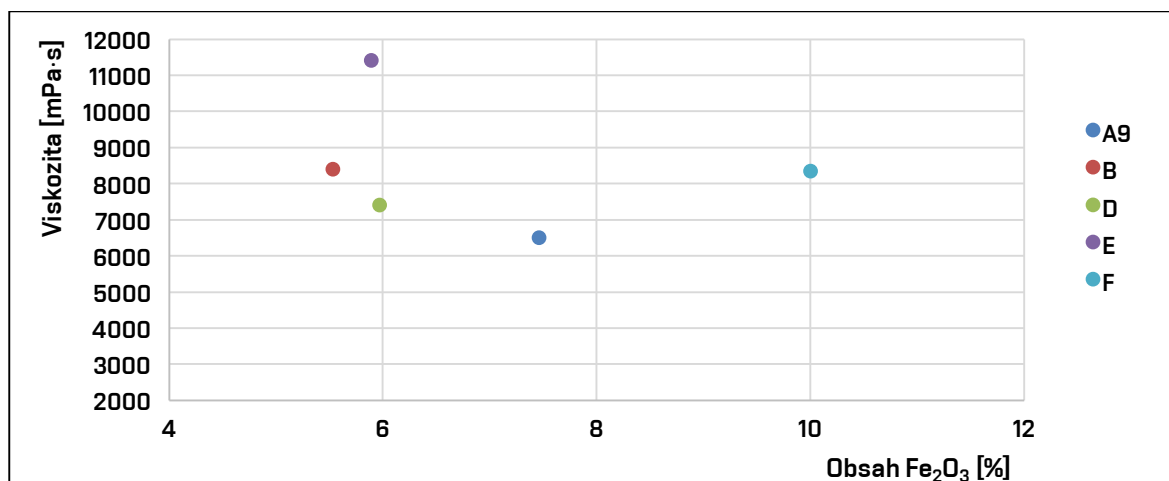


Diagram č. 39: Závislost viskozity mastixu na obsahu Fe_2O_3 v popílku

6.3 Závěr Etapy III

Žádná ze závislostí nepotvrdila přímý vliv vybraných vlastností popílku na viskozitu mastixu. Zdá se velmi pravděpodobné, že se bude jednat o multikriteriální korelaci. Pro ověření veškerých hypotéz je nutné zvětšit statistický soubor.

7 Etapa IV: Rozbor možností využití vybraných druhů popílků jako plniv do mastixů pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů

V rámci čtvrté etapy byly hodnoceny možnosti využití vybraných druhů popílků pro výrobu oxidovaných asfaltových izolačních pásů (OAIP). Zohledňovány byly především poznatky z provedených analýz a provozně-ekonomické faktory.

7.1 Popílek A

Tab. č. 18: Obecné a technické parametry – Popílek A – vzorek A9

OBECNÉ PARAMETRY (údaje uváděné výrobcem)				
Zdroj	hnědé uhlí, černé uhlí, směs hnědého a černého uhlí			
Typ spalování	vysokoteplotní			
Předpokládaná denitrifikační technologie	SNCR			
Účel použití - Certifikace	beton, malta, cement, asfaltové izolační pásy, pórobeton			
TECHNICKÉ PARAMETRY				
POPÍLEK	Měrná hmotnost	2190	[kg·m ⁻³]	
	Sypná hmotnost	910	[kg·m ⁻³]	
	Měrný povrch	3030	[cm ² ·g ⁻¹]	
	Granulometrie Podíl částic max. frakce	0,063	62	[%]
		0,0125	81	[%]
	Nasákavost	0,48	[%]	
	Hodnota pH	4,5	[-]	
	Chemické složení	SiO₂	52,2	[%]
		Al₂O₃	29,3	[%]
		Fe₂O₃	7,46	[%]
		CaO	1,72	[%]
		MgO	1,26	[%]
		Na₂O	0,538	[%]
		K₂O	2,01	[%]
		SO₃ + SO₄²⁻	0,37	[%]
TiO₂		1,74	[%]	
P₂O₅		0,12	[%]	
Cl⁻		<40 mg/kg suš.	[%]	
P		0,052	[%]	
MnO	0,0427	[%]		
NH₃	neprovedeno	[%]		
MASTIX	Bod měknutí	84,0	[°C]	
	Penetrace jehlou	22	[p.j.]	
	Viskozita	6501	[mPa·s]	

Hodnocení vlastností popílku a mastixu z něj vyrobeného je uvedeno na následující straně.

Podrobnou analýzou referenčního popílku statistického souboru byly zjištěny následující skutečnosti. Vzorky, s výjimkou některých případů, vykazovaly nejnižší hodnoty měrné hmotnosti a měrného povrchu. Ostatní charakteristiky vykazovaly průměrné hodnoty statistického souboru. Byly však odhaleny výrazné odchylky jednotlivých vzorků popílku A, což indikuje výrazné rozdíly chování vzorků. Za nejvýznamnější lze považovat rozptýlení hodnot pH výluhu takřka v rozsahu celé škály pH – nejvíce vzorků se nacházelo v části silně kyselých, menší část pak i v silně zásaditých. Část souboru vzorků Popílku A tedy nesplnila normou daný limit minimální hodnoty pH výluhu – 14 z 23 testovaných vzorků.

Analýzou vlastností Mastixu A byly zjištěny podobné rozdíly jako při analýze vlastností Popílku A. Vzorky však vykazovaly tuhost přiměřenou umožnění stanovení hodnot jednotlivých vlastností. Část vzorků Mastixu A nesplnil limit zhotovitelnosti výrobního závodu, specifikovaný v části. 5.2.4.2.

Všechny obecné a technické parametry Popílku A a Mastixu A, reprezentovaných vzorky A9, jsou uvedeny v Tabulce č. 18.

Popílek A jeví příznivé předpoklady použití ve výrobě OAIP. Je však nutné optimalizovat jeho vlastnosti tak, aby nedocházelo k výrazným odchylkám jejich kvality. Lze totiž usuzovat, že pravděpodobně tyto výchylky mají vliv na chování mastixu ve formě poklesu zpracovatelnosti. To je spojené s nárazovým zvyšováním výrobních nákladů – občasná nutnost doředit směsi asfaltem. Je třeba zvážit aplikaci jiné receptury s vyšším podílem asfaltu v mezidobí než bude charakter popílku optimalizován. Obojí se pojí se zvýšením výrobních nákladů a je nutné rozhodnout, které náklady budou znamenat pro výrobní závod OAIP lepší či horší variantu. Významnou výhodou použití tohoto druhu popílku je jeho relativně krátká dopravní vzdálenost – elektrárna produkující tento druh popílku se totiž nachází 60 km od výroby OAIP.

7.2 Popílek B

Tab. č. 19: Obecné a technické parametry – Popílek B

OBECNÉ PARAMETRY (údaje uváděné výrobcem)				
Zdroj	hnědé uhlí			
Typ spalování	vysokoteplotní			
Předpokládaná denitrifikační technologie	SNCR			
Účel použití - Certifikace	pórobeton, asfaltové výrobky, lité základové směsi pro vyplňování důlních děl, rekultivační stabilizované nebo solidifikované směsi			
TECHNICKÉ PARAMETRY				
POPÍLEK	Měrná hmotnost	2300	[kg·m ⁻³]	
	Sypná hmotnost	940	[kg·m ⁻³]	
	Měrný povrch	3170	[cm ² ·g ⁻¹]	
	Granulometrie Podíl částic max. frakce	0,063	39	[%]
		0,0125	60	[%]
	Nasákavost	0,50	[%]	
	Hodnota pH	4,4	[-]	
	Chemické složení	SiO₂	52,7	[%]
		Al₂O₃	28,7	[%]
		Fe₂O₃	5,53	[%]
		CaO	1,9	[%]
		MgO	1,2	[%]
		Na₂O	0,244	[%]
		K₂O	1,86	[%]
		SO₃ + SO₄²⁻	0,2	[%]
TiO₂		1,7	[%]	
P₂O₅		<0,10	[%]	
Cl⁻		<40 mg/kg suš.	[%]	
P		<0,050	[%]	
MnO	0,0457	[%]		
NH₃	neprovedeno	[%]		
MASTIX	Bod měknutí	82,0	[°C]	
	Penetrace jehlou	18	[p.j.]	
	Viskozita	8402	[mPa·s]	

Hodnocení vlastností popílku a mastixu z něj vyrobeného je uvedeno na následující straně.

Na základě výsledků I. Etapy – analýzy vlastností popílků, projevoval Popílek B podobný charakter jako Popílek A. Vykazoval podobné hodnoty sypané hmotnosti v.s. , měrného povrchu a nasákavosti. Měrná hmotnost byla pouze o $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ vyšší než u Popílku A. Chemické složení bylo velmi podobné s výjimkou podílu Na_2O , kterého popílek B obsahuje výrazně méně. Popílek B vykazoval výrazně nižší podíl jemných částic oproti ostatním druhům, což vyjadřuje jeho hrubozrnnost. Testovaný vzorek popílku B nesplnil limit normově předepsané minimální hodnoty pH výluhu.

Ačkoliv Popílek B vykazoval nejnižší podíl jemných částic – 39% podíl částic frakce do 0,063 mm a 60% podíl částic frakce do 0,125 mm, mastix připravený z tohoto druhu popílku vykazoval druhou nejvyšší hodnotu viskozity. Viskozita Mastixu B byla o 1902 mPa·s vyšší než viskozita Mastixu A. Mastix B nesplnil limit zhotovitelnosti výrobního závodu, specifikovaný v bodě č. 5.2.4.2.

Všechny obecné a technické parametry Popílku B a Mastixu B jsou uvedeny v Tabulce č. 19.

Viskozita představuje tak vysokou hodnotu, že by mastix s obsahem tohoto popílku na základě Receptury A (viz. Tabulka 11) nebylo možné ve výrobním závodě zhotovit bez aplikace ředění asfaltovým pojivem či aplikací receptury s vyšším podílem asfaltového pojiva. To by mělo samozřejmě vliv na zvýšení výrobních nákladů. Další položkou, která by znamenala navýšení výrobní hodnoty je položka transportních nákladů – elektrárna produkující tento druh popílku se totiž nachází 240 km vzdáleně od výrobního závodu OAIP.

7.3 Popílek C

Tab. č. 20: Obecné a technické parametry – Popílek C

OBEČNÉ PARAMETRY (údaje uváděné výrobcem)				
Zdroj	hnědé uhlí			
Typ spalování	fluidní			
Předpokládaná denitrifikační technologie	-			
Účel použití - Certifikace	stabilizát			
TECHNICKÉ PARAMETRY				
POPÍLEK	Měrná hmotnost	2800	[kg· m ⁻³]	
	Sypná hmotnost	650	[kg· m ⁻³]	
	Měrný povrch	5550	[cm ² · g ⁻¹]	
	Granulometrie Podíl částic max. frakce	0,063	44	[%]
		0,0125	69	[%]
	Nasákavost	1,13	[%]	
	Hodnota pH	12,2	[-]	
	Chemické složení	SiO₂	42,3	[%]
		Al₂O₃	26,7	[%]
		Fe₂O₃	4,14	[%]
		CaO	13,9	[%]
		MgO	0,913	[%]
		Na₂O	0,259	[%]
		K₂O	0,754	[%]
		SO₃ + SO₄²⁻	4,96	[%]
		TiO₂	2,27	[%]
P₂O₅		0,19	[%]	
Cl⁻		<40 mg/kg suš.	[%]	
P		0,084	[%]	
MnO		0,0268	[%]	
NH₃	neprovedeno	[%]		
MASTIX	Bod měknutí	146,5	[°C]	
	Penetrace jehlou	6	[p.j.]	
	Viskozita	-	[mPa· s]	

Hodnocení vlastností popílku a mastixu z něj vyrobeného je uvedeno na následující straně.

Analýzou vlastností bylo zjištěno, že Popílek C vykazuje zcela odlišné vlastnosti ve srovnání s popílkem A. To je možné vysvětlit jeho původem z fluidního spalování, které má na parametry popílku výrazný vliv. Popílek vykazoval vysokou nasákavost, měrný povrch a nízký podíl jemných částic. Stanovená sypná hmotnost v.s. byla velmi nízká oproti ostatním druhům (vyjma popílku H). Po chemické stránce obsahoval popílek vysoký podíl CaO a $\text{SO}_3 + \text{SO}_4^{2-}$. Hodnota pH byla 12,2. Všechny tyto vlastnosti jen potvrzují původ popílku z fluidního spalování.

Při zhotovování záměsi projevoval mastix vyrobený z popílku C vysokou viskozitu. Zdálo se, že zhotovení směsi nebude vůbec reálné. Nakonec po dvojím zahřátí směs vykazovala směs standartní vzhled. Proto mohly být stanoveny hodnoty bodu měknutí a penetrace jehlou. Mastix C vykazoval nejvyšší hodnotu bodu měknutí a nejnižší hodnotu penetrace ze všech stanovovaných vzorků mastixů. Viskozita nebyla stanovena z důvodu příliš vysokého ztužovacího efektu popílku.

Všechny obecné a technické parametry Popílku a Mastixu C jsou uvedeny v Tabulce č. 20.

Hodnota bodu měknutí popílku C byla přibližně 1,5 krát vyšší než u ostatních vzorky. To by v praxi znamenalo buď výrazné zvýšení výrobní teploty mastixu – za nejistoty výsledné kvality směsi. Anebo by bylo nutné dořeďovat mastix asfaltovým pojivem při aplikaci Receptury A či aplikací receptury s vyšším podílem asfaltového pojiva. Obě varianty se pojí s výrazným zvýšením nákladů. Další nákladovou položkou by byly zvýšené náklady na transport, jelikož elektrárna se nachází 250 km vzdáleně od výrobního závodu OAIP.

7.4 Popílek D

Tab. č. 21: Obecné a technické parametry – Popílek D

OBECNÉ PARAMETRY (údaje uváděné výrobcem)				
Zdroj	hnědé uhlí			
Typ spalování	vysokoteplotní			
Předpokládaná denitrifikační technologie	SNCR			
Účel použití - Certifikace	beton			
TECHNICKÉ PARAMETRY				
POPÍLEK	Měrná hmotnost	2490	[kg·m ⁻³]	
	Sypná hmotnost	810	[kg·m ⁻³]	
	Měrný povrch	5550	[cm ² ·g ⁻¹]	
	Granulometrie Podíl částic max. frakce	0,063	89	[%]
		0,0125	99	[%]
	Nasákavost	0,37	[%]	
	Hodnota pH	3,6	[-]	
	Chemické složení	SiO₂	49,6	[%]
		Al₂O₃	33	[%]
		Fe₂O₃	5,97	[%]
		CaO	1,53	[%]
		MgO	0,914	[%]
		Na₂O	0,399	[%]
		K₂O	0,88	[%]
		SO₃ + SO₄²⁻	0,42	[%]
TiO₂		2,83	[%]	
P₂O₅		<0,10	[%]	
Cl⁻		<40 mg/kg suš.	[%]	
P		<0,050	[%]	
MnO	0,0229	[%]		
NH₃	neprovedeno	[%]		
MASTIX	Bod měknutí	78,8	[°C]	
	Penetrace jehlou	21	[p.j.]	
	Viskozita	7404	[mPa·s]	

Hodnocení vlastností popílku a mastixu z něj vyrobeného je uvedeno na následující straně.

Většina analyzovaných vlastností Popílku D se pohybovala okolo průměru hodnot statistického souboru. Výjimkou byla jeho velmi vysoká jemnost – nejvyššího ze všech srovnávaných druhů popílků – 89% podíl částic frakce do 0,063 mm a 99% podíl částic frakce do 0,125 mm. A dále pak velmi nízká nasákavost – 0,39 %. Testovaný vzorek popílku B nesplnil limit normově předepsané minimální hodnoty pH výluhu.

Mastix D projevily viskozitu o 904 mPa·s vyšší než Mastix A, což představuje poměrně výrazný rozdíl. Mastix D nesplnil limit zhotovitelnosti výrobního závodu, specifikovaný v bodě č. 5.2.4.2.

Všechny obecné a technické parametry Popílku a Mastixu D jsou uvedeny v Tabulce č. 21.

Nesplnění limitu zhotovitelnosti představuje pro výrobní závod zvýšení výrobních nákladů z důvodu nutnosti dořeřování mastixu asfaltovým pojivem při aplikaci Receptury A či aplikací receptury s vyšším podílem asfaltového pojiva. Zvýšení výrobních nákladů by znamenalo i zavedení tohoto popílku do výroby samo o sobě, neboť elektrárna vyrábějící popílek se nachází 250 km od výrobního závodu OAIP.

7.5 Popílek E

Tab. č. 22: Obecné a technické parametry – Popílek E

OBECNÉ PARAMETRY (údaje uváděné výrobcem)				
Zdroj	hnědé uhlí			
Typ spalování	vysokoteplotní			
Předpokládaná denitrifikační technologie	-			
Účel použití - Certifikace	cement, beton, podsypy a zásypy při výstavbě silnic a železnic, k úpravě krajiny a rekonstrukcím terénu			
TECHNICKÉ PARAMETRY				
POPÍLEK	Měrná hmotnost	2240	[kg· m ⁻³]	
	Sypná hmotnost	855	[kg· m ⁻³]	
	Měrný povrch	4870	[cm ² · g ⁻¹]	
	Granulometrie Podíl částic max. frakce	0,063	75	[%]
		0,0125	87	[%]
	Nasákavost	0,52	[%]	
	Hodnota pH	3,5	[-]	
	Chemické složení	SiO₂	55,6	[%]
		Al₂O₃	26,4	[%]
		Fe₂O₃	5,89	[%]
		CaO	1,53	[%]
		MgO	1,05	[%]
		Na₂O	0,294	[%]
		K₂O	1,89	[%]
		SO₃ + SO₄²⁻	0,37	[%]
		TiO₂	1,26	[%]
P₂O₅		<0,10	[%]	
Cl⁻		<40 mg/kg suš.	[%]	
P		<0,050	[%]	
MnO	0,0592	[%]		
NH₃	neprovedeno	[%]		
MASTIX	Bod měknutí	85,5	[°C]	
	Penetrace jehlou	18	[p.j.]	
	Viskozita	11410	[mPa· s]	

Hodnocení vlastností popílku a mastixu z něj vyrobeného je uvedeno na následující straně.

Všechny analyzované vlastnosti Popílku E vykazovaly průměrné hodnoty statistického souboru. Testovaný vzorek popílku E nesplnil limit normově předepsané minimální hodnoty pH výluhu.

Analýzou mastixů bylo zjištěno, že mastix E projevil extrémní ztužovací efekt v porovnání s ostatními testovanými vzorky. Mastix E nesplnil limit zhotovitelnosti výrobního závodu, specifikovaný v bodě č. 5.2.4.2.

Všechny obecné a technické parametry Popílku a Mastixu E jsou uvedeny v Tabulce č. 22.

Nesplnění limitu zhotovitelnosti představuje pro výrobní závod zvýšení výrobních nákladů z důvodu nutnosti dořeřování mastixu asfaltovým pojivem při aplikaci Receptury A či aplikací receptury s vyšším podílem asfaltového pojiva. Výhodou použití tohoto druhu popílku by byla výrazně kratší dopravní vzdálenost než u ostatních vzorků – 98 km.

7.6 Popílek F

Tab. č. 23: Obecné a technické parametry – Popílek F

OBECNÉ PARAMETRY (údaje uváděné výrobcem)				
Zdroj	hnědé uhlí			
Typ spalování	vysokoteplotní			
Předpokládaná denitrifikační technologie	SNCR			
Účel použití - Certifikace	použití ve stavebnictví			
TECHNICKÉ PARAMETRY				
POPÍLEK	Měrná hmotnost	2410	[kg·m ⁻³]	
	Sypná hmotnost	850	[kg·m ⁻³]	
	Měrný povrch	4900	[cm ² ·g ⁻¹]	
	Granulometrie Podíl částic max. frakce	0,063	73	[%]
		0,0125	90	[%]
	Nasákavost	0,43	[%]	
	Hodnota pH	3,8	[-]	
	Chemické složení	SiO₂	51	[%]
		Al₂O₃	28,4	[%]
		Fe₂O₃	10	[%]
		CaO	2,17	[%]
		MgO	1,32	[%]
		Na₂O	0,408	[%]
		K₂O	1,6	[%]
		SO₃ + SO₄²⁻	0,53	[%]
TiO₂		1,23	[%]	
P₂O₅		<0,10	[%]	
Cl⁻		<40 mg/kg suš.	[%]	
P		<0,050	[%]	
MnO	0,0552	[%]		
NH₃	neprovedeno	[%]		
MASTIX	Bod měknutí	80,0	[°C]	
	Penetrace jehlou	18	[p.j.]	
	Viskozita	8338	[mPa·s]	

Hodnocení vlastností popílku a mastixu z něj vyrobeného je uvedeno na následující straně.

Všechny analyzované vlastnosti Popílku F vykazovaly průměrné hodnoty statistického souboru. Výjimkou byl vysoký obsah Fe_2O_3 ve vzorku, který činil přibližně dvojnásobek průměru statistického souboru. Testovaný vzorek popílku F nesplnil limit normově předepsané minimální hodnoty pH výluhu.

Analýzou mastixů bylo zjištěno, že mastix F vykazoval podobnou hodnotu viskozity jako Mastix B – o $1837 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ vyšší hodnotu než Mastix A. Mastix E nesplnil limit zhotovitelnosti výrobního závodu, specifikovaný v bodě č. 5.2.4.2.

Všechny obecné a technické parametry Popílku a Mastixu E jsou uvedeny v Tabulce č. 23.

Nesplnění limitu zhotovitelnosti představuje pro výrobní závod zvýšení výrobních nákladů z důvodu nutnosti dořeřování mastixu asfaltovým pojivem při aplikaci Receptury A či aplikací receptury s vyšším podílem asfaltového pojiva. Výhodou použití tohoto druhu popílku by byla velmi kratší dopravní vzdálenost než u ostatních vzorků – 98 km.

7.7 Popílek G

Tab. č. 24: Obecné a technické parametry – Popílek G

OBECNÉ PARAMETRY (údaje uváděné výrobcem)				
Zdroj	hnědé uhlí			
Typ spalování	vysokoteplotní			
Předpokládaná denitrifikační technologie	SNCR			
Účel použití - Certifikace	-			
TECHNICKÉ PARAMETRY				
POPÍLEK	Měrná hmotnost	2110	[kg· m ⁻³]	
	Sypná hmotnost	585	[kg· m ⁻³]	
	Měrný povrch	4400	[cm ² · g ⁻¹]	
	Granulometrie Podíl částic max. frakce	0,063	48	[%]
		0,0125	72	[%]
	Nasákavost	0,92	[%]	
	Hodnota pH	9,1	[-]	
	Chemické složení	SiO₂	53,4	[%]
		Al₂O₃	19,2	[%]
		Fe₂O₃	8,6	[%]
		CaO	4,25	[%]
		MgO	1,86	[%]
		Na₂O	0,57	[%]
		K₂O	1,89	[%]
		SO₃ + SO₄²⁻	0,53	[%]
		TiO₂	0,62	[%]
P₂O₅		0,23	[%]	
Cl⁻		0,03	[%]	
P		neprovedeno	[%]	
MnO	neprovedeno	[%]		
NH₃	20,053	[%]		
MASTIX	Bod měknutí	115,0	[°C]	
	Penetrace jehlou	15	[p.j.]	
	Viskozita	-	[mPa· s]	

Hodnocení vlastností popílku a mastixu z něj vyrobeného je uvedeno na následující straně.

S ohledem na posouzení vlastností popílku A bylo odhaleno poměrně nestandardní chování popílku G. Navzdory jeho původu z vysokoteplotního spalování a relativně nízkému měrnému povrchu a měrné hmotnosti, vykazoval hodnoty zbylých vlastností spíše podobné fluidním popílkům. Sypná hmotnost popílku G představovala poloviční hodnotu průměrného vzorku statistického souboru. Vzorek dále vykazoval zvýšenou nasákavost oproti ostatním vzorkům – 0,92 %. Ve vzorku bylo obsaženo nižší množství jemných částic než u ostatních vzorků pocházejících z vysokoteplotního spalování. Hodnota pH výluhu Popílku G byla 9,1 a tedy splňovala normou daný limit. Oproti ostatním vzorkům z vysokoteplotního spalování obsahoval vzorek větší množství CaO – 4,25 %.

Analýza vlastností Mastixu G vykazovala podobné chování mastixu jako při analýze popílků Popílek G. Příprava Mastixu G byla spojena s komplikacemi z důvodu přílišné tuhosti směsi a následně zjištěné vlastnosti vykazovaly extrémně vysoké hodnoty oproti ostatním vysokoteplotním popílkům. Během stanovování viskozity nedošlo ke korektní kalibraci vzorku vlivem jeho příliš vysoké tuhosti a měření muselo být zastaveno – i přes zvýšení teplotní rampy o 20 °C oproti ostatním vzorkům.

Všechny obecné a technické parametry Popílku a Mastixu G jsou uvedeny v Tabulce č. 24.

Vzhledem k vysokému ztužovacímu efektu popílku by jeho zavedení ve výrobě OAIP znamenalo nutnost dodatečného dořeďování mastixu při aplikaci Receptury A či úplná změna receptury s vyšším podílem asfaltu ve směsi. Enormní zvýšení nákladů by navíc představovala položka dopravy, jelikož elektrárna se od výrobního závodu nachází 350 km.

7.8 Popílek H

Tab. č. 25: Obecné a technické parametry – Popílek H

OBECNÉ PARAMETRY (údaje uváděné výrobcem)				
Zdroj	hnědé uhlí			
Typ spalování	fluidní			
Předpokládaná denitrifikační technologie	SNCR			
Účel použití - Certifikace	-			
TECHNICKÉ PARAMETRY				
POPÍLEK	Měrná hmotnost	2870	[kg· m ⁻³]	
	Sypná hmotnost	575	[kg· m ⁻³]	
	Měrný povrch	6270	[cm ² · g ⁻¹]	
	Granulometrie Podíl částic max. frakce	0,063	55	[%]
		0,0125	85	[%]
	Nasákavost	1,39	[%]	
	Hodnota pH	12,3	[-]	
	Chemické složení	SiO₂	33,1	[%]
		Al₂O₃	20,7	[%]
		Fe₂O₃	5,3	[%]
		CaO	19,7	[%]
		MgO	0,95	[%]
		Na₂O	0,31	[%]
		K₂O	0,57	[%]
		SO₃ + SO₄²⁻	5,43	[%]
TiO₂		2,27	[%]	
P₂O₅		0,18	[%]	
Cl⁻		0,01	[%]	
P		neprovedeno	[%]	
MnO	neprovedeno	[%]		
NH₃	30,11	[%]		
MASTIX	Bod měknutí	-	[°C]	
	Penetrace jehlou	-	[p.j.]	
	Viskozita	-	[mPa· s]	

Hodnocení vlastností popílku a mastixu z něj vyrobeného je uvedeno na následující straně.

Analýzou vlastností bylo zjištěno, že Popílek H vykazuje velmi podobné vlastnosti popílku C a G zcela odlišné od zbytku souboru. To je možné vysvětlit jeho původem z fluidního spalování, které má na parametry popílku výrazný vliv. Popílek vykazoval nejvyšší hodnoty nasákavosti, měrného povrchu, měrné hmotnosti. Naopak nejnižší hodnotu sypané hmotnosti v.s. Po chemické stránce obsahoval popílek nejvyšší podíl CaO a síranů. Hodnota pH byla 12,3. Všechny tyto vlastnosti jen potvrzují původ popílku z fluidního spalování.

Mastix H nebylo, z důvodu extrémně vysokého ztužovacího efektu Popílku H, vůbec možné zhotovit. Parametry směsí tak nejsou k dispozici.

Všechny obecné a technické parametry Popílku a Mastixu H jsou uvedeny v Tabulce č. 25.

Mastix H by bylo možné vyrobit pouze za aplikace receptury s vyšším podílem asfaltového pojiva, která se pojí se zvýšením nákladů. Další nákladovou položkou by byly zvýšené náklady na transport, jelikož elektrárna se nachází 200 km vzdáleně od výrobního závodu OAIP.

7.9 Závěr Etapy IV

Provedením analýzy vlastností vybraných druhů popílků a následně mastixů, z těchto popílků vyrobených, byly zjištěny parametry těchto materiálu, na jejichž základě byla provedena analýza možností jejich využití ve výrobě OAIP.

Bylo zjištěno, že fluidní popílků C a H vykazovaly nevhodné vlastnosti, zejména vysoký ztužovací efekt mastixu, pro výrobu OAIP.

Popílek G, přes jeho původ z vysokoteplotního spalování, vykazoval podobné vlastnosti jako v případě fluidních popílků C a H. Jeho využití pro výrobu OAIP bylo rovněž označeno za nevhodné.

Stanovená hodnota viskozity mastixu E vykazovala extrémně vysokou hodnotu a Popílek E byl také označen za nevhodný.

Popílků B, D a F vykazovaly průměrné hodnoty statistického souboru, avšak vyšší než hodnoty, které vykazoval Popílek A. Popílků rovněž nesplnily limit zhotovitelnosti definovaný v bodě 5.2.4.2.

Nejvhodnější vlastnosti pro výrobu OAIP na základě provedených analýz projevily Popílek A, protože většina vzorků z něho připravených splnila limit zpracovatelnosti. Pro jeho další použití je však nevyhnutelné jeho vlastnosti optimalizovat, aby nedocházelo k výrazným

odchylkám v kvalitě OAIP. Lze totiž usuzovat, že tyto odchylky mají vliv na chování mastixu v podobě poklesu zpracovatelnosti. Následkem toho jsou nárazová zvýšení výrobních nákladů z důvodu nutnosti doreďování směsi finančně náročným asfaltovým pojivem.

8 Souhrn výsledků a jejich diskuze

Hlavním cílem diplomové práce bylo ověřit možnosti využití různých druhů elektrárenských popílků jako plniva do asfaltových směsí pro výrobu OAIP, zejména z pohledu zpracovatelnosti. Zpracovatelnost mastixů byla sledována prostřednictvím viskozity. Příprava vzorků a její stanovení bylo provedeno podle definovaného postupu v Tabulce č. 14. Na základě této analýzy bylo zjištěno, že jedinou přijatelnou variantou z vybraných druhů popílků je pro výrobní závod OAIP referenční popílek A. Mastixy zhotovené z ostatních druhů popílků nesplnily limit zhotovitelnosti specifikovaný v bodě č. 5.2.4.2, což vyjadřuje jejich nevhodnost pro toto využití. Některé vzorky mastixů vyrobené s přídavkem popílku A však tento limit rovněž nesplnily. Do budoucna je tedy nutné optimalizovat vlastnosti popílku, aby nedocházelo k výrazným odchylkám jejich kvality. Lze totiž usuzovat, že tyto vlastnosti mohou být pravděpodobnou příčinou náhlých změn zpracovatelnosti mastixů.

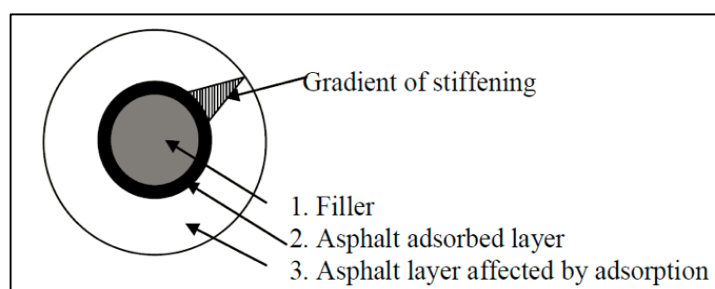
Ověřením vlivu konkrétních vlastností popílků na viskozitu mastixu, u kterých se předpokládalo, že by mohly tyto náhlé změny způsobovat se zabývala další část této diplomové práce. Předpokládalo se, že s odhalením příčiny těchto výkyvů bude moci být navržen optimalizační postup. Konkrétní přímé příčiny však nebyly odhaleny.

Prvotním předpokladem bylo, že mastixy vyrobené s přídavkem denitifikovaných popílků budou projevovat výrazné odchylky, což se neprokázalo. Na základě provedené analýzy vzájemných závislostí viskozity na vybraných charakteristikách popílků byly tedy zkoumány závislosti viskozity mastixů a měrného povrchu, hodnoty pH výluhu a chemického složení, u kterých se předpokládal vliv na viskozitu mastixu na základě významně odchylených hodnot některých vzorků – viz Kapitola č. 6. Žádná ze závislostí však nepotvrdila přímý vliv těchto vybraných vlastností popílku na viskozitu mastixu. Jevilo se tedy pravděpodobné, že závislost zpracovatelnosti mastixu na vlastnostech popílku bude inklinovat k vícefaktoriální korelaci.

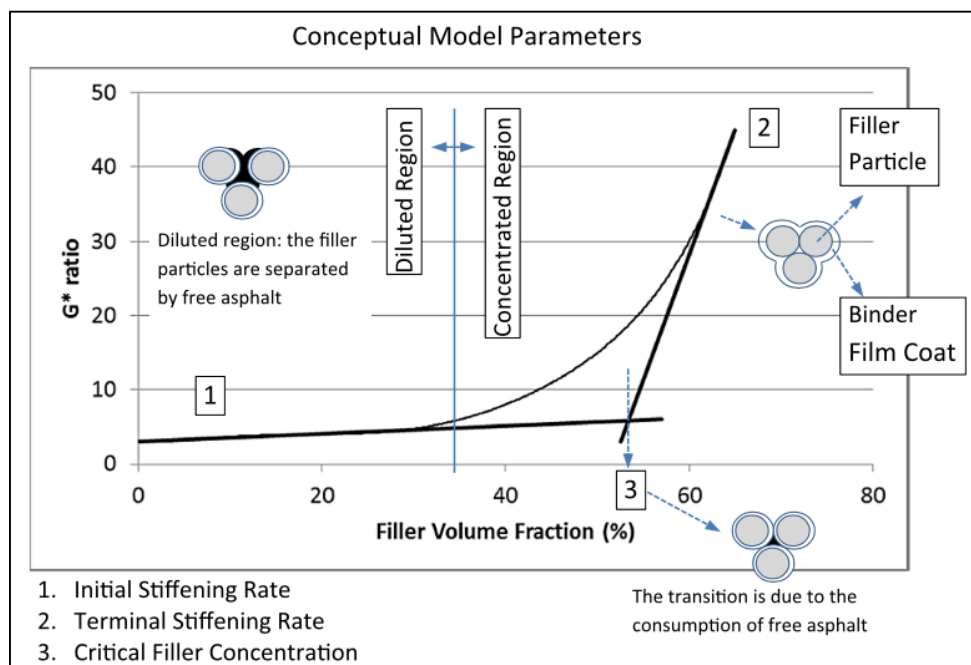
Ve spolupráci s panem RNDr. Svatoplukem Stokláškem a dostupné literatury byla zpracována analýza vícefaktoriálního vlivu vlastností popílku na zpracovatelnost mastixu uvedená v následující kapitole 8.1.

8.1 Analýza vícefaktoriálního vlivu vlastností popílku na zpracovatelnost mastixu

Zásadní informací pro vypracování této analýzy je, že částice popílku, u kterých byla mikrostruktura zobrazena pomocí elektronového mikroskopu (SEM), se zdají mít kulovitý tvar – neobsahují viditelné kavity ani nemají povrchovou přechodovou texturu. Vzhledem k tomuto předpokladu lze usoudit, že pro reologii mastixu může hrát významnou roli přímá interakce mezi povrchem částice a asfaltovou fází. Hypotéza byla následně rozpracována na základě teorie volného objemu, která hovoří o tom, že část pojiva přiléhající k zrnům fileru je adsorbována na jeho povrchu a zároveň ovlivňuje do určité míry i okolní asfaltové pojivo – gradient ovlivnění je znázorněn na Obrázku č. 38. Se vzrůstajícím množstvím adsorbovaného pojiva na povrchu zrna popílku dochází ke zmenšování množství neovlivněného pojiva v celém systému, což vede v určitém kritickém bodě ke změně reologického chování mastixu. Tento princip je popsán na Obrázku č. 39 za pomoci závislosti tuhosti mastixu (G^* racion) na množství přidaného plniva (Filler Volume Fraction). Tuhost systému se před dosažením kritického bodu (3) zvyšuje lineárně s přidaným množstvím plniva (popílku). Po dosažení kritického bodu (3) se jeho tuhost zvyšuje exponenciálně. To je dáno snižujícím se množstvím volného asfaltového pojiva k adsorpci na zrnech plniva, což má za následek nárůst celkového tření mezi zrny plniva. Toto tření v praxi způsobuje zvýšení tuhosti systému resp. nárůst viskozity. [44][45]



Obr. č. 38: Gradient ovlivnění asfaltového pojiva [46]



Obr. č. 39: Ztužovací efekt popílku na mastix [45]

Aplikace této teorie byla využita k zavedení zjednodušeného vyjádření viskozity a měrného povrchu pro účely provedení analýzy vícefaktirálního vlivu vlastností popílku na zpracovatelnost mastixu – tzv. redukovaná viskozita (RV). Důvodem pro zvolení těchto konkrétních charakteristik mastixu a popílku byla jejich předpokládaná významnost v této problematice vzhledem k nalezení příčiny výkyvů zpracovatelnosti. Viskozita byla zvolena jako optimální veličina pro sledování zpracovatelnosti mastixů. Vysoké rozdíly měrného povrchu jednotlivých vzorků předpokládaly jeho významný vliv na zpracovatelnost mastixu.

Vzorec pro výpočet redukované viskozity:

$$RV = \frac{\eta}{A_{spe}} \left[\frac{mPa \cdot s}{cm^2 \cdot g^{-1}} \right]$$

kde RV Redukovaná viskozita mastixu

η Viskozita mastixu [mPa·s]

A_{spe} Měrný povrch popílku [$cm^2 \cdot g^{-1}$]

Následně byla zkoumána závislost definované redukované viskozity (RV) a hodnoty pH výluhu. Při vysokých odchylkách hodnoty pH výluhu popílků se totiž předpokládal její významný vliv hned po měrném povrchu. Byl sestaven diagram multikriteriální závislosti redukované

viskozity na hodnotě pH výluhu popílku – viz. Diagram č. 42. Na diagramu však opět nebyla nalezena žádná korelační závislost. Zdá se tak, že je viskozita řízena ještě jiným principem než který byl demonstrován.

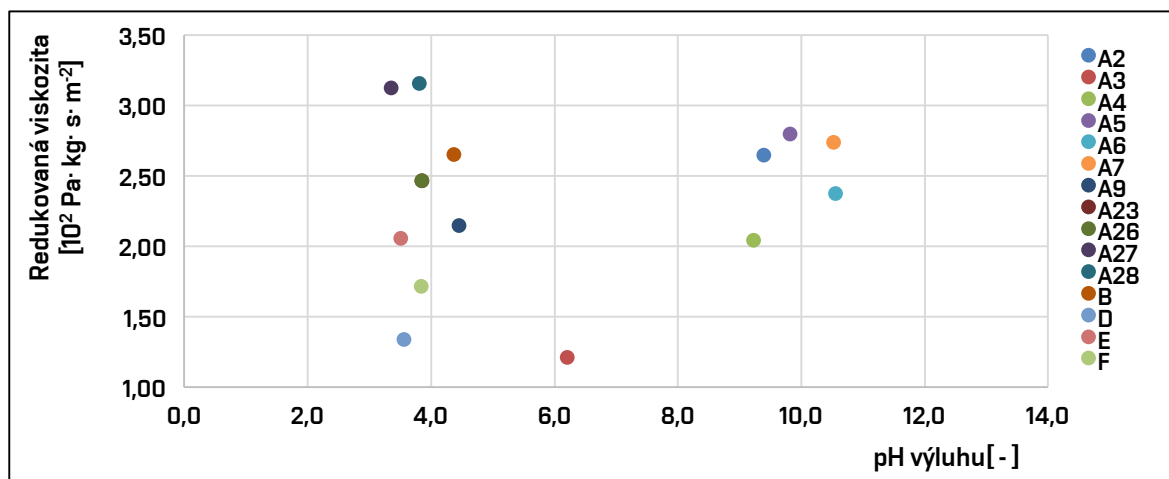


Diagram č. 40: Závislost redukované viskozity mastixu na pH výluhu popílku

Závěrem je nutné konstatovat, že ve věci vlivu vlastností popílku na zpracovatelnost mastixu se jedná o rozsáhlou problematiku a tato práce by tedy měla sloužit spíše jako podklad pro další výzkumnou činnost. Doporučuje se rozšířit statistický soubor a testování na jednom druhu popílku. Rovněž se jeví jako účelné sledovat strukturu popílku – zda vykazuje amorfní či krystalickou strukturu. Vzhledem k tomu, že zkoušené mastixy obsahovaly majoritní část tvořenou popílkem a vyskytovaly se až na kritickém bodem (3) dle Obrázku č. 39. Jeví se jako pravděpodobné, že příčinou výkyvů zpracovatelnosti je především rozdílný tvar a velikost částic popílku a jejich distribuční rozdělení. Významný vliv mohou mít také obsažené nečistoty, které byly ze vzorků popílků před zhotovením mastixů odstraněny.

9 Závěr

Ověřením možností využití vybraných druhů popílků pro výrobu OAIP byly prostřednictvím analýzy vlastností popílků a mastixů zjištěny následující skutečnosti.

Při analýze vlastností vzorků popílků byly odhaleny výrazné odchylky měrné hmotnosti, sypané hmotnosti volně sypané, nasákavosti, granulometrie, měrného povrchu a pH výluhu popílku. Za významné byl označen měrný povrch, transformovaně vyjadřující granulometrii v kombinaci s pórovitostí a pH výluhu popílku. Stanovením měrného povrchu byly odhaleny velmi výrazné odchylky měrného povrchu jednotlivých vzorků, které se pohybovaly v rozmezí 2335 až 6270 cm²·g⁻¹. Stanovením hodnot pH výluhu vybraných druhů popílků bylo zjištěno, že 20 vzorků vykazuje mírně až silně kyselý charakter a 10 vzorků mírně až silně zásaditý charakter. Navíc bylo zjištěno, že celkem 18 z 30 testovaných vzorků nespĺnilo normou daný minimální limit hodnoty pH výluhu, který je specifikován jako pH_{min} je 5,0.

V rámci analýzy vlastností mastixů byla kvantifikační veličinou pro sledování zpracovatelnosti zvolena viskozita a byla navržena metodika jejího zkoušení. Viskozita byla stanovena za pomoci dynamického smykového reometru v módu deska-deska na teplotní rampě 165 až 150 °C. Rozpětí teplotní rampy bylo zvoleno tak, aby korespondovalo s technologickými podklady výrobního závodu – teplota směsi se ve výrobě pohybuje mezi 220 °C až 145 °C. Pro účely posouzení viskozity testovaných vzorků byly použity dosažené hodnoty při teplotě 155 °C, která se nacházela uprostřed zvolené teplotní rampy a umožňovala tak relevantní porovnání testovaných vzorků – hodnoty viskozity již nebyly ovlivňovány tokovým uzpůsobením částic či deaglomerací, jako tomu bylo na počátku měření viskozity. Stanovení viskozity bylo provedeno u laboratorně připravených vzorků na základě receptury A. Dále bylo provedeno rovněž stanovení viskozity u 3 provozně zhotovených vzorků, které byly zhotoveny na základě receptury A, L a C. Provozně zhotovený vzorek fungoval jako kontrolní vzorek – jeho viskozita měla být nižší než viskozita vzorků připravených podle receptura L a C. Dále provozně zhotovený vzorek, připravený podle receptury C, vyjadřoval hodnotu viskozity, kterou má výrobní závod v budoucnu dosáhnout. Provozně zhotovený vzorek, připravený podle receptury L, definoval limit zhotovitelnosti tj. viskozitu mastixu obsahující limitní množství popílku, které je za aktuálně nastavených podmínek reálně technologicky zpracovat. Na základě tohoto limitu byly následně vzorky hodnoceny. Bylo zjištěno, že limit splnilo pouze 7 z 15 testovaných vzorků, přičemž limit splnily pouze vzorky mastixu A. Mastix C a H vykazoval navíc již při přípravě vzorků mastixů příliš vysoký ztužovací efekt, který zabraňoval zhotovení směsí. Viskozita mastixu G

navíc nebyla možná korektně stanovit rovněž z důvodu jeho příliš vysokého ztužovacího efektu. Na základě limitu zhotovitelnosti se tedy jako jedinou možnou alternativou jako plniva pro výrobu OAIP ukázal popílek A.

Ověřením vlivu vlastností popílků na zpracovatelnost mastixů byly zkoumány závislosti viskozity mastixu na měrném povrchu (transformovaně vyjadřující granulometrii a pórovitost), hodnotě pH výluhu a chemickém složení popílků. Žádná ze závislostí nepotvrdila přímý vliv vybraných vlastností popílku na zpracovatelnost mastixu. Na základě toho se předpokládá vícefaktoriální vliv vlastností popílku na zpracovatelnost mastixů. Vliv měrného povrchu a pH výluhu popílku na viskozitu mastixu se neprokázal. Zdá se, že hlavním důvodem výkyvů zpracovatelnosti je především rozdílný tvar a velikost částic popílku a jejich distribuční rozdělení, protože mastix je z převážné části tvořen plnivem. Významný vliv mohou mít také obsažené nečistoty, které byly ze vzorků popílků před zhotovením mastixů odstraněny. Negativní vliv denitrifikovaných popílků na zpracovatelnost mastixu se neprokázal.

Závěrem je nutné konstatovat, že ve věci vlivu vlastností popílku na zpracovatelnost mastixu se jedná o rozsáhlou problematiku a tato práce by tedy měla sloužit spíše jako podklad pro další výzkumnou činnost.

10 Seznamy

10.1 Seznam použitých zdrojů

- [1] KHOLOMYEVA, Marina. Průmyslová ekologie s.r.o. *VE SVĚTĚ NA VÝHODY POUŽITÍ ELEKTRÁRENSKÝCH POPÍLKŮ UŽ PŘIŠLI. A JAK JSME NA TOM MY?* [online]. 2018. [cit 02.01.2019]. Dostupné z: <http://www.prumyslovaekologie.cz/Dokument/103597/ve-svete-na-vyhody-pouziti-elektrenskeh-popilku-uz-prisli-a-jak-jsme-na-tom-my.aspx>
- [2] MOHRMANN, Pavel. Průmyslová ekologie s.r.o. *POPÍLKŮ V ZAHRANIČÍ* [online]. 2018. [cit 02.01.2019]. Dostupné z: <http://www.prumyslovaekologie.cz/Dokument/103331/popilky-v-zahranici.aspx>
- [3] DJUREKOVIC, Aleksandar, MLADENOVIC, Goran. *The performance of bitumen mastics with the addition of fly ash. BITUMINOUS MIXTURES AND PAVEMENTS VI*. June 2015, pp. 115- 122.
- [4] VON DER HEIDE, Bernd. Möglichkeiten und Grenzen der SNCR-Verfahren. *Abfallwirtschaft- und Energiekonferenz Berlin*. January 2012, pp. 623- 624.
- [5] Svaz výrobců asfaltových pásů v ČR, PLECHÁČ, Zdeněk, KUPKA, Aleš, PLACHÝ, Jan, BRYCHTA, Jaroslav, PECH, Lubomír. *Abeceda asfaltových izolací* [online]. 1., vyd. Praha: Svaz výrobců asfaltových pásů v ČR. ISBN: 978-80-905563-0-0. Rovněž dostupné z: https://svaz-ap.cz/docs/svaz_ap_cz/SVAP_ABECEDA-ASFALTOVYCH-IZOLACI-2016.pdf
- [6] CENTNER, Bedřich. *VÝROBA ASFALTOVÝCH PÁSŮ A JEJICH VLASTNOSTI* [online]. Zbuzany, 2005 [cit 29.06.2018]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/vyroba-asfaltovych-pasu-a-jejich-vlastnosti/>
- [7] KEREKANIČ, Robin. *PROBLEMATIKA ODOLNOSTI HYDROIZOLACNÍCH SYSTÉMU PLOCHÝCH STŘECH*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=133819
- [8] ČSN 73 0605-1. *Hydroizolace staveb – Povlakové izolace – Požadavky na použití asfaltových pásů*. Praha: Český normalizační institut, 2014.
- [9] ČSN EN 13707. *Hydroizolační pásy a fólie - Vyztužené asfaltové pásy pro hydroizolaci střech - Definice a charakteristiky*. Praha: Český normalizační institut, 2014.
- [10] ČSN EN 13969. *Hydroizolační pásy a fólie - Asfaltové pásy do izolace proti vlhkosti a asfaltové pásy do izolace proti tlakové vodě - Definice a charakteristiky*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [11] ČSN EN 13970. *Hydroizolační pásy a fólie - Asfaltové parozábrany - Definice a charakteristiky*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

- [12] ČSN 73 0601. *Ochrana staveb proti radonu z podloží*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [13] KVK PARABIT, a.s.. *NÁVOD K POUŽITÍ* [online]. Svoboda nad Úpou, 2013.[cit 19.04.2018]. Dostupné z: http://www.kvkparabit.com/media/uploads/ke_stazeni/navod_k_pouziti_pasu_kv_k_parabit.pdf
- [14] Coleman S.I., a.s.. *JAK SI VYBRAT ASFALTOVÝ PÁS?* [online].[cit 29.06.2018]. Dostupné z: <https://e.coleman.cz/jak-si-vybrat-asfaltovy-pas-cz>
- [15] KVK PARABIT, a.s.. *UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA. JAK NA TO!* [online]. Svoboda nad Úpou, 2014 [cit 19.04.2018]. Dostupné z: http://www.kvkparabit.com/media/uploads/ke_stazeni/pruvodce_kv_k_parabit.pdf
- [16] SLANINA, Petr. *Definování parotěsné vrstvy u plochých jednopláškových střech*. Praha, 2003. Diplomová práce. České Vysoké Učení Technické v Praze. Fakulta Stavební. Dostupné také z: http://www.slanina.cz/publikace/files/01_slanina_definovani_parotesne_vrstvy_u_plochych_jednoplavstovych_strech.pdf
- [17] MISTRY, Raja, ROY, Tapas Kumar. Effect of using fly ash as an alternative filler in hot mix asphalt. *Perspektives in Science. ELSEVIER*. September 2016, pp. 307- 309.
- [18] SKLENÁŘOVÁ, Radka. *Studium využitelnosti popílků z procesu denitrifikace spalin*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=134981
- [19] ČSN EN 1850-1. *Hydroizolační pásy a fólie – Stanovení zjevných vad – Část 1: Asfaltové pásy pro hydroizolaci střech*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [20] ČSN EN 1928. *Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení vodotěsnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [21] ČSN EN 1931. *Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení propustnosti vodní páry*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [22] ČSN EN 12311-1. *Hydroizolační pásy a fólie – Část 1: Asfaltové pásy pro hydroizolace střech – Stanovení tahových vlastností*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [23] ČSN EN 12 691. *Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení odolnosti proti nárazu*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [24] ČSN EN 12 730. *Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení odolnosti proti statickému zatížení*. Praha: Český normalizační institut, 2015.

- [25] ČSN EN 1109. *Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení ohebnosti za nízkých teplot.* Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [26] ČSN EN 1110. *Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení odolnosti proti stékání při zvýšené teplotě.* Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [27] ČSN EN 12039. *Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení přilnavosti posypu.* Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [28] ČSN EN 1296. *Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Metoda umělého stárnutí při dlouhodobém vystavení zvýšené teplotě.* Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [29] ČSN EN 13304. *Asfalty a asfaltová pojiva – Systém specifikace pro oxidované asfalty.* Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [30] ČSN EN 12591. *Asfalty a asfaltová pojiva – Specifikace pro silniční asfalty.* Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [31] ČSN 72 2072-10. *Popílek pro stavební účely – Část 10: Popílek pro asfaltové výrobky.* Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [32] ČSN 72 0102. *Základní postup rozboru silikátů – Stanovení ztráty sušením.* Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [33] ČSN 72 1206. *Sádrovec a anhydrit jako přísada do cementu.* Praha: Český normalizační institut, 1973.
- [34] ČSN 72 0103. *Základní postup rozboru silikátů – Stanovení ztráty žiháním.* Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [35] ČSN EN 1097-6. *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti.* Praha: Český normalizační institut, 2014.
- [36] ČSN EN 1097-7. *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 7: Stanovení měrné hmotnosti filetu – Pyknometrická zkouška.* Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [37] ČSN EN 196-6. *Metody zkoušení cementu – Část 6: Stanovení jemnosti mletí.* Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [38] ČSN 72 2071. *Popílek pro stavební účely Společná ustanovení, požadavky a metody zkoušení.* Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [39] ČSN 72 2080. *Fluidní popel a fluidní popílek pro stavební účely - Společná ustanovení, požadavky a metody zkoušení.* Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [40] ČSN EN 1427. *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička.* Praha: Český normalizační institut, 2015.

- [41] ČSN EN 1426. *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou*. Praha: Český normalizační institut, 2015.
- [42] ČSN EN 13302. *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení dynamické viskozity asfaltových pojiv rotačním vřetenovým viskozimetrem*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [43] VERKON. Míchačka hřidelová Heidolph Hei – TORQUE Precision. [online]. [cit 06.01.2019]. Dostupné z: <https://www.verkon.cz/michacka-hridelova-heidolph-hei-torque-precision/>
- [44] STOKLÁSEK, Svatopluk. Vliv vlastností elektrérenských popílků na reologii mastixu. Brno, 2018. [cit 27.11.2018]
- [45] ROBATI, Masoud, CARTER, Alan, PERRATON, Daniel. *New Conceptual Model for Filler Stiffening Effect on Asphalt Mastic of Microsurfacing*. *Journal of Materials in Civil Engineering*. March 2015. pp. 1-2.
- [46] FAHEEM, F. Ahmed, BAHIA, U. Hussain. Test methods for mineral filler used in HMA [online]. 2010. [cit 08.01.2019]. Dostupné z: https://uwmarc.wisc.edu/files/binders2010/Test_Methods_for_Mineral_Filler_Used_in_HMA_-_Faheem.pdf

10.2 Seznam použitých zkratk a symbolů

- AdMas – Advanced Materials, Structures and Technologies
AL – nosná vložka s hliníkovou fólií
AOSI – asfalty oxidované stavebně-izolační
APP – modifikátor asfaltu na bázi ataktického polypropylenu
ASF – Asfalty silniční
ČR – Česká republika
ČU – Černé uhlí
DP – Diplomová práce
FP – Fluidní popílek
G – nosná vložka na bázi skelné tkaniny
H – nosná vložka na bázi hadrové lepenkou
HU – Hnědé uhlí
OAIP – Oxidované asfaltové izolační pásy
OX – Oxidovaný asfalt
RV – redukováná viskozita
P – nosná vložka na bázi polyesterového rouna
PBM APP – polymerem modifikovaný asfalt (ataktického polypropylenu)
PBM SBS – polymerem modifikovaný asfalt (styren-butadien-styren)
SCR – katalytická selektivní redukce
SNCR – nekatalytická selektivní redukce
SBS – modifikátor asfaltu na bázi termoplastického kaučuku styren-butadien-styren
SHČU – Směs hnědého a černého uhlí
Sypná hmotnost v.s. – sypná hmotnost volně sypaná

V – nosná vložka na bázi skelné rohože
VP – Vysokoteplotní popílek
ÚTHD – Ústav technologie stavebních hmot a dílců
ÚPKO – Ústav pozemních komunikací

10.3 Seznam tabulek

Tab.č.1: Rozdělení asfaltových pásů podle místa a způsobu použití ve stavbě [8].....	16
Tab.č.2: Další rozdělení asfaltových pásů podle místa a použití ve stavbě a jejich materiálové charakteristiky [5] [8] [9] [10] [11] [12].....	16
Tab. č. 3:Obecné porovnání asfaltových pásů s různým typem asfaltové povlakové vrstvy [5]....	24
Tab.č.4: Základní asfaltové pásy asfaltových pásů.....	29
Tab. č. 5: Průměrné chemického složení popílků produkovaných v ČR [18].....	34
Tab. č. 6: Průměrné chemické složení popílků v závislosti na typu paliva [18].....	34
Tab. č. 7: Průměrné chemické složení popílků v závislosti na typu spalování [18].....	34
Tab. č. 8: Požadavky na chemické a fyzikální vlastnosti popílků pro asfaltové výrobky [31].....	35
Tab. č. 9: Původ a vizuální charakter použitých popílků.....	50
Tab. č. 10: Chemické složení jednotlivých druhů popílků.....	65
Tab. č. 11: Receptura A pro výrobu mastixu.....	68
Tab. č. 12: Souhrn zhotovených mastixů a provedených zkoušek.....	68
Tab. č. 13: Dynamická viskozita vzorků.....	70
Tab. č. 14: Postup přípravy vzorků mastixů.....	73
Tab. č. 15: Výběr vzorků popílků A pro zhotovení mastixů pro stanovení viskozity.....	82
Tab.č. 16 : Receptura C pro výrobu mastixu.....	86
Tab. č. 17: Receptura L pro výrobu mastixu.....	86
Tab. č. 18: Obecné a technické parametry – Popílek A – vzorek A9.....	95
Tab. č. 19: Obecné a technické parametry – Popílek B.....	97
Tab. č. 20: Obecné a technické parametry – Popílek C.....	99
Tab. č. 21: Obecné a technické parametry – Popílek D.....	101
Tab. č. 22: Obecné a technické parametry – Popílek E.....	103
Tab. č. 23: Obecné a technické parametry – Popílek F.....	105
Tab. č. 24: Obecné a technické parametry – Popílek G.....	107
Tab. č. 25: Obecné a technické parametry – Popílek H.....	109

10.4 Seznam obrázků

Obr. č. 1: Obvyklá skladba asfaltového pásu [5].....	19
Obr. č. 2: Detail asfaltového pásu s hrubozrnným minerálním posypem [5].....	20
Obr. č. 3: Minerální posyp [15].....	20
Obr. č. 4: Nosná vložka typu P na bázi polyesterového rouna podélně vyztuženého skleněnými vlákny [5].....	21
Obr. č. 5: Nosná vložka typu G na bázi skleněné tkaniny [5].....	21
Obr. č. 6: Nosná vložka typu V na bázi skleněné rohože [5].....	22

Obr. č. 7: Nosná vložka na bázi skleněné rohože s hliníkovou fólií [5].....	22
Obr.č. 8: Modifikátory APP (vlevo) a SBS (vpravo) [5].....	24
Obr. č. 9: Míchací zařízení pro homogenizaci asfaltové směsi o výkonu 30 ot./min.....	27
Obr. č. 10: Výrobní linka pro výrobu asfaltových pásů – odvíjení nosné vložky z role, kompenzátor, nanášecí linka.....	27
Obr. č. 11: Výrobní linky pro výrobu asfaltových pásů – vana pro nanášení asfaltové povlakové vrstvy s nanášecími válci.....	28
Obr. č. 12: Výroba asfaltového pásu – nanášení asfaltové povlakové vrstvy na nosnou vložku ve vaně za pomoci s nanášecích válců.....	28
Obr.č. 13: Výroba asfaltového pásu – nanášení minerálního posypu.....	28
Obr. č. 14: Soustava chladicích válců výrobní linky pro výrobu asfaltových pásů.....	29
Obr. č. 15: Snímek mikrostruktury vysokoteplotního popílku (KPCHVAL), zvětšení 2000x [18]....	32
Obr. č. 16: Snímek mikrostruktury fluidního ložového popela (FLP-TIS), zv. 1000x [18].....	33
Obr.č. 17: Snímek mikrostruktury fluidního filtrového popela (FFP-TIS), zv. 2000x [18].....	33
Obr. č. 18: Příklad PC-Blaine Star značky ZEB.....	44
Obr. č. 19: Příklad Mastersizer 2000 značky Malvern Panalytical.....	45
Obr. č. 20: pH metr SevenExcellence značky METTLER TOLEDO.....	46
Obr. č. 21: Aparatura pro stanovení bodu měknutí.....	46
Obr. č. 22: Penetrometr pro stanovení penetrace jehlou.....	47
Obr. č. 23: Rotačního viskozimetru DV2T značky BROOKFIELD.....	47
Obr. č. 24: Hřídlová míchačka Heidolph Hei-TORQUE Precision značky VERKON [43].....	48
Obr. č. 25: Skleněné míchadlo upevněné v míchačce.....	48
Obr. č. 26: Rotační reometr Kinexus pro+ od společnosti Malvern Panalytical.....	48
Obr. č. 27: Vzhled vzorků popílků A1 až H.....	51
Obr. č. 28: Snímky mikrostruktury vzorku popílku A5 s rozlišením 20, 50 a 200 μm (zleva).....	63
Obr. č. 29: Snímky mikrostruktury vzorku popílku A11 s rozlišením 20, 50 a 200 μm (zleva).....	64
Obr. č. 30: Snímky mikrostruktury vzorku popílku A3 s rozlišením 20, 50 a 200 μm (zleva).....	64
Obr. č. 31: Zbytek na síť vel. Oka 1 mm po přesytí vzorku A3.....	72
Obr. č. 32: Připravený vzorek mastixu.....	74
Obr. č. 33: Mastix H.....	78
Obr. č. 34: Vzhled mastixů D, F, C, B, G, H, E (zleva).....	78
Obr. č. 35: Vytemperovaný vzorek pro stanovení penetrace jehlou.....	79
Obr. č. 36: Snímky mikrostruktury vzorku mastixu RS005 – A5 s rozlišením 5, 20 a 50 μm (zleva).....	81
Obr. č. 37: Snímky makrostruktury vzorků mastixů RS005-A5, RS011-A11 a RS003-A3 s rozlišením 0,10mm (zleva).....	81
Obr. č. 38: Gradient ovlivnění asfaltového pojiva [46].....	112
Obr. č. 39: Ztužovací efekt popílku na mastix [45].....	113

10.5 Seznam diagramů

Diagram č. 1: Stanovené hodnoty ztráty sušením první série vzorků popílku A.....	54
Diagram č. 2: Stanovené hodnoty ztráty žíháním první série vzorků popílku A.....	55
Diagram č. 3: Stanovené hodnoty měrné hmotnosti vzorků popílku A.....	56
Diagram č. 4: Stanovené hodnoty měrné hmotnosti vzorků popílku A9, B, C, D, E, F, G, H.....	56
Diagram č. 5: Stanovené hodnoty měrného povrchu vzorků popílku A.....	57
Diagram č. 6: Stanovené hodnoty měrného povrchu vzorků popílku A9, B, C, D, E, F, G, H.....	57
Diagram č. 7: Stanovené hodnoty sypané hmotnosti v. s. vzorků popílku A.....	58
Diagram č. 8: Stanovené hodnoty sypané hmotnosti v. s. vzorků popílku A9, B, C, D, E, F, G, H.....	59
Diagram č. 9: Stanovené hodnoty nasákavosti vzorků popílku A.....	59
Diagram č. 10: Stanovené nasákavosti vzorků popílku A9, B, C, D, E, F, G, H.....	60
Diagram č. 11: Stanovení distribuce velikosti částic – integrální křivka zrnitosti vzorků popílku A.....	61
Diagram č. 12: Stanovení distribuce částic o velikosti sítích 0,063 a 0,125 mm – integrální křivka zrnitosti vzorků popílku A.....	61
Diagram č. 13: Stanovení distribuce velikosti částic – integrální křivka zrnitosti vzorků popílku A-H.....	62
Diagram č. 14: Stanovení distribuce částic o velikosti sítích 0,063 a 0,125 mm – integrální křivka zrnitosti vzorků popílku A9, B, C, D, E, F, G, H.....	62
Diagram č. 15: Stanovené hodnoty pH výluhu vzorků popílku A.....	66
Diagram č. 16: Stanovené hodnoty pH výluhu vzorků popílku A9, B, C, D, E, F, G, H.....	66
Diagram č. 17: Stanovení modulu tuhosti ve smyku vzorků RS014 – A3 a RS015 – A5 (popílek bez úpravy).....	71
Diagram č. 18: Stanovení modulu tuhosti ve smyku vzorků RS018 – A3 a RS019 – A5 (max. frakce popílku 1 mm).....	72
Diagram č. 19: Stanovení vlivu postupu přípravy na odchylky stanovení viskozity mastixů.....	74
Diagram č. 20: Ověření reprodukovatelnosti postupu přípravy mastixů dle definovaného postupu.....	75
Diagram č. 21: Stanovení viskozity mastixu s obsahem plniva s vysokým obsahem slídy (biotit).....	76
Diagram č. 22: Stanovené hodnoty bodu měknutí vzorků mastixů A.....	77
Diagram č. 23: Stanovené hodnoty bodu měknutí vzorků mastixů A9, B, C, D, E, F, G, H.....	77
Diagram č. 24: Stanovené hodnoty penetrace jehlou vzorků mastixů A při teplotě 25 °C.....	79
Diagram č. 25: Stanovené hodnoty penetrace jehlou vzorků mastixů A9, B, C, D, E, F, G, H při teplotě 25 °C.....	80
Diagram č. 26: Stanovené hodnoty viskozity vzorků mastixů A při teplotě 155 °C.....	83
Diagram č. 27: Stanovené hodnoty viskozit vzorků mastixů A na teplotní rampě 165 až 150 °C.....	83
Diagram č. 28: Stanovené hodnoty viskozit vzorků všech mastixů na teplotní rampě 165 až 150 °C.....	84
Diagram č. 29: Stanovené hodnoty viskozity vzorků mastixů A9, B, D, E a F při teplotě 155 °C.....	85

Diagram č. 30: Stanovené hodnoty viskozit vzorků všech mastixů bez mastixu G na teplotní rampě 165 až 150 °C.....	85
Diagram č. 31: Stanovené hodnoty viskozity laboratorně a provozně připravených vzorků při teplotě 160 °C.....	86
Diagram č. 32: Závislost viskozity mastixu a podílu částic popílku – frakce do 0,063 mm.....	90
Diagram č. 33: Závislost viskozity mastixu a podílu částic popílku – frakce do 0,125 mm.....	90
Diagram č. 34: Závislost viskozity mastixu a nasákavosti popílku.....	91
Diagram č. 35: Závislost viskozity mastixu a měrného povrchu popílku.....	91
Diagram č. 36: Závislost viskozity mastixu a pH výluhu popílku.....	92
Diagram č. 37: Závislost viskozity mastixu na obsahu SiO ₂ v popílku.....	92
Diagram č. 38: Závislost viskozity mastixu na obsahu Al ₂ O ₃ v popílku.....	93
Diagram č. 39: Závislost viskozity mastixu na obsahu Fe ₂ O ₃ v popílku.....	93
Diagram č. 40: Závislost redukované viskozity mastixu na pH výluhu popílek.....	114