

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra silničních staveb



PŘILNAVOST A ODOLNOST PROTI ÚČINKŮM VODY
U ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

-

VLIV FILERŮ A PŘILNAVOSTNÍCH PŘÍRAD

Diplomová práce

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Lejskeová</u>	Jméno: <u>Lucie</u>	Osobní číslo: <u>423041</u>
Zadávací katedra: <u>silničních staveb (K136)</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce a dopravní stavby</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:	<u>Přilnavost a odolnost proti účinkům vody u asfaltových směsí - vliv filerů a přilnavostních přísad</u>	
Název diplomové práce anglicky:	<u>Adhesion and resistance to water imersion of asphalt mixtures - effect of fillers and adhesion promoters</u>	
Pokyny pro vypracování:	<ul style="list-style-type: none">- rešerše v oblasti problematiky přilnavosti mezi kamenivem a asfaltovým pojivem a v oblasti odolnosti asfaltové směsi proti účinkům vody- charakterizace použitých asfaltových pojiv a typů kameniva, vymezení použitých přilnavostních přísad (min. 3 varianty) a filerů na bázi odprašků (min. 4 varianty)- provádění přilnavostní zkoušky dle ČSN 73 6161 na variantách s 4-5 různými typy kameniva a pojivem 50/70, včetně ověření vlivu přilnavostních přísad a jejich účinku po stárnutí- zkouška vhodnosti alternativních filerů na bázi odprašků s uplatněním postupu dle ČSN EN 12697-12 a ČSN EN 1744-4, včetně provedení Marshallovy zkoušky- analýza získaných poznatků a shrnující doporučení	
Seznam doporučené literatury:	<ul style="list-style-type: none">- technické normy a TP vztahující se k uvedené problematice- Partl, M. et al.: Advances in Interlaboratory Testing and Evaluation of Bituminous Materials- odborné články a výzkumné zprávy dle průběžného upřesnění vedoucím diplomové práce	
Jméno vedoucího diplomové práce:	<u>Ing. Jan Valentin, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce:	<u>27.9.2019</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>5.1.2020</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
..... Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

..... Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)
--------------------------------	------------------------------

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Přilnavost a odolnost proti účinkům vody u asfaltových směsí – vliv filerů a přilnavostních přísad* vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení Ing. Jana Valentina, Ph.D. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma následků při porušení těchto práv.

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ:

Ráda bych touto formou poděkovala mému vedoucímu práce panu Ing. Janu Valentinovi, Ph.D. za profesionální a pozitivní přístup při konzultacích, za poskytnutí potřebných informací pro tvorbu této diplomové práce a za pomoc při praktických testech v laboratoři. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Pavle Vackové a Ing. Tereze Valentové za vstřícný přístup a pomoc při práci v laboratoři.

ANOTACE:

Diplomová práce *Přilnavost a odolnost proti účinkům vody u asfaltových směsí – vliv filerů a přilnavostních přísad* se věnuje problematice ztráty přilnavosti mezi kamenivem a asfaltovým pojivem v důsledku nepříznivého působení vody, včetně přínosu, který na omezení této ztráty mají vybrané přilnavostní přísady či atypické přídavné filery. Práce je rozdělená do pěti hlavních kapitol. První část je věnovaná popisu jednotlivých použitých složek asfaltové směsi, konkrétně kamenivu, asfaltovému pojivu, fileru a přilnavostním přísadám. Druhá a třetí část obsahují teoretické poznatky v oblasti přilnavosti a odolnosti asfaltových směsí vůči negativnímu působení vody a současně se věnují popisu provedených zkoušek v praktické části. Předposlední část obsahuje experimentálně naměřené hodnoty vybraných charakteristik a jejich vzájemné porovnání, včetně komentářů k výsledkům dílčích zkoušek. Práci uzavírá shrnutí poznatků z předchozích kapitol.

KLÍČOVÁ SLOVA:

přilnavost, odolnost proti účinkům vody, asphalt, kamenivo, asfaltová směs, pojivo, voda, odolnost, filer, odprašky, přilnavostní přísada

ABSTRACT:

The master thesis *Adhesion and Resistance to Water Immersion of Asphalt Mixtures – Effect of Fillers and Adhesion Promoters* is dedicated to the description of the problem with loss of adhesion between aggregate and asphalt bituminous binder due to adverse effect of water, including the benefits of selected adhesion promoters or non-traditional mineral fillers on limitations of such losses. The thesis is divided into five main chapters. The first part presents description of the used specific materials of the asphalt mixtures, namely aggregates, bituminous binder, filler and adhesion promoters. The second and the third part is focused on theoretical findings in the field of adhesion and resistance to negative water immersion effects on asphalt mixtures and at the same time includes description of performed tests in the practical part. The penultimate part contains experimentally measured values of selected characteristics and their mutual comparison and assessment, including commentaries to the results of particular tests. The thesis is closed with the summary of the findings from the previous chapters.

KEYWORDS:

adhesion, resistance to water immersion, bitumen, aggregate, asphalt mixture, water, anti-stripping agents, adhesion promoters, filler, stone dust, stripping

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra silničních staveb

PŘILNAVOST A ODOLNOST PROTI ÚČINKŮM VODY
U ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

-

VLIV FILERŮ A PŘILNAVOSTNÍCH PŘÍRAD

ADHESION AND RESISTANCE TO WATER IMERSION
OF ASPHALT MIXTURES

-

EFFECT OF FILLERS AND ADHESION PROMOTERS

Diplomová práce

Leden 2020

Vypracovala: Bc. Lucie Lejskeová

Vedoucí práce: Ing. Jan Valentin, Ph.D.

OBSAH:

1. ÚVOD	11
2. ASFALTOVÁ SMĚS	13
2.1. ASFALTOVÉ POJIVO	13
2.1.1. Silniční asfalt 50/70	14
2.1.2. pojivo PMB 25/55-60	15
2.1.3. pojivo PMB 45/80-55	15
2.2. KAMENIVO	16
2.2.1. Brant	16
2.2.2. Chlum	17
2.2.3. Libodřice	18
2.2.4. Markovice	19
2.2.5. Vysokopeční Struska DESTRO	20
2.2.6. Zbečno	21
2.2.7. Zbraslav	22
2.3. PŘÍDAVNÉ FILERY	22
2.3.1. Brant	23
2.3.2. Bystřec	23
2.3.3. Chrtníky	24
2.3.4. Litice	24
2.3.5. Libochovany	25
2.3.6. Plešovice	26
2.3.7. Plešovice + mastek	27
2.3.8. Vápencová moučka (CaCO ₃) z lokality Velké Hydčice	27
2.4. PŘILNAVOSTNÍ PŘÍSADY	27
2.4.1. Impact 8000 (IMPACT (R) 7000)	28
2.4.2. DP500T	28
2.4.3. Iterlene SL/100 PLUS	28
3. PŘILNAVOST A ODOLNOST PROTI ÚČINKŮM VODY	29
3.1. ADHEZE × KOHEZE	29
3.2. ZÁKLADNÍ VAZEBNÍ SÍLY ČÁSTIC	30
3.2.1. Fyzikální vazby	30
3.2.2. Chemické vazby	31
3.3. DEFINICE ADHEZE	32
3.3.1. Adheze z hlediska mechaniky	32
3.3.2. Adheze z hlediska chemie	33

3.3.3.	Adheze z hlediska elektrostatiky	34
3.3.4.	Adheze z hlediska termodynamiky	36
3.4.	TEORIE MEZNÍ VRSTVY	37
3.5.	VLIV MINERALOGICKÉHO SLOŽENÍ KAMENIVA NA PŘILNAVOST	38
3.6.	VLIV FILERŮ NA PŘILNAVOST	40
3.7.	VLIV PŘILNAVOSTNÍCH PŘÍRAD NA PŘILNAVOST	41
3.8.	VLIV VODY NA PŘILNAVOST	45
3.9.	ZTRÁTA PŘILNAVOSTI VLIVEM VODY	46
3.9.1.	Odloučení	47
3.9.2.	Přemístění	47
3.9.3.	Spontánní emulgace	47
3.9.4.	Porušení pórovým tlakem	48
3.9.5.	Hydraulické vymletí	48
4.	POPIS PROVEDENÝCH ZKOUŠEK	49
4.1.	PŘÍPRAVA MARSHALLOVÝCH TĚLES	49
4.2.	STANOVENÍ PŘILNAVOSTI MEZI ASFALTOVÝM POJIVEM A KAMENIVEM	50
4.2.1.	Postup zkoušky	50
4.2.2.	Vyhodnocení zkoušky	51
4.2.3.	Výsledek zkoušky	54
4.3.	STANOVENÍ PEVNOSTI V PŘÍČNÉM TAHU	54
4.3.1.	Postup zkoušky	55
4.3.2.	Výpočet pevnosti	56
4.3.3.	Vyhodnocení	56
4.4.	STANOVENÍ ODOLNOSTI VŮČI VODĚ	56
4.4.1.	Postup zkoušky	57
4.4.2.	Výpočet pevnosti	57
4.4.3.	Vyhodnocení	57
4.5.	STANOVENÍ ZVĚTŠENÍ OBJEMU A ZTRÁTY STABILITY MARSHALLOVA ZKUŠEBNÍHO TĚLESA	57
4.5.1.	Postup zkoušky	58
4.5.2.	Výpočet zvětšení objemu	59
4.6.	STANOVENÍ ODOLNOSTI POJIVA PROTI STÁRNUTÍ	59
4.6.1.	Postup zkoušky	60
5.	VÝSLEDKY PRAKTICKÉHO MĚŘENÍ	61
5.1.	STANOVENÍ PŘILNAVOSTI VIZUÁLNÍ METODOU	61

5.1.1. Brant	61
5.1.2. Chlum	62
5.1.3. Libodřice	63
5.1.4. Markovice	65
5.1.5. Struska DESTRO	66
5.1.6. Zbečno	67
5.1.7. Zbraslav	69
5.2. STANOVENÍ PŘILNAVOSTI DIGITÁLNÍ SNÍMKOVOU ANALÝZOU	71
5.3. POSOUZENÍ MARSHALLOVÝCH ZKUŠEBNÍCH TĚLES	74
5.3.1. Stanovení tuhosti	75
5.3.2. Stanovení odolnosti proti účinkům vody	75
5.3.3. Celkové zhodnocení	79
6. SHRNU TÍ A ZÁVĚR	82
SEZNAM OBRÁZKŮ	85
SEZNAM TABULEK	87
SEZNAM GRAFŮ	89
SEZNAM LITERATURY	90
PŘÍLOHA	97

1. ÚVOD

Problematika porušení asfaltových vozovek vlivem negativního působení vody, patří k nejčastěji se vyskytujícímu problému, který vede k nutnosti opravy či rekonstrukce vozovky ještě před dosažením konce její životnosti. Vlivem narůstajícího dopravního zatížení hlavně od nákladní dopravy a v důsledku změn klimatických podmínek, dochází v krytové vrstvě vozovky ke změnám proudění obsažené vody (vlhkosti), která časem pronikne na rozhraní mezi asfaltovým filmem a kamenivem a dojde k odloučení filmu od kameniva. Obnažené kamenivo je náchylné nejen na poškození, ale současně je náchylnější k dalšímu pohlcování molekul vody, které zapříčiní další ztrátu přilnavosti mezi kamenivem a asfaltovým pojivem, čímž i k rozšíření plochy porušení. Aby se tomuto jevu předcházelo, resp. zabránilo, jsou zkoušeny nová asfaltová pojiva, přilnavostní přísady a alternativní přídatné filery, které mají zlepšit přilnutí asfaltového pojiva ke kamenivu.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo posoudit faktory ovlivňující přilnavost mezi kamenivem a asfaltovým pojivem na základě získaných teoretických poznatků z dostupných studií a také na základě praktických měření v laboratoři. Pozornost byla zaměřena hlavně na mineralogické složení a nasákavost kameniva, neboť je známo, že složení kameniva z velké části ovlivňuje přilnavost. Celkem bylo testováno 7 typů kameniv, zastupující různé horniny z území celé České republiky, protože zdejší geologické podmínky dovolují využívat širokou škálu různých druhů hornin pro silniční účely. Kameniva byla smíchána ve variantách s asfaltovým pojivem a s asfaltovým pojivem v kombinaci s přilnavostní přísadou, nebo s přídatným filerem. Konkrétně se jednalo o tři přilnavostní přísady a osm filerů. Inovací v této diplomové práci bylo vyhodnocení přilnavosti nejen pomocí vizuální (konvenční) metody, ale také pomocí digitální snímkové analýzy, která je prozatím ve stupni vývoje. Pro doplnění poznatků se rovněž zkoumalo, jaký má vliv zestárlé pojivo, resp. pojivo v kombinaci s přilnavostní přísadou na přilnavost a výsledné naměřené hodnoty byly porovnány s variantami s čerstvým asfaltovým pojivem, resp. pojivem v kombinaci s vybraným typem přilnavostní přísady.

Dalším cílem této diplomové práce bylo posouzení vlivu dávkování asfaltového pojiva na procentuální obalení zrn kameniva. Dle evropské normy je určeno, že k dosažení požadovaného stupně obalení má být použito nižší množství pojiva, než udává česká národní norma ČSN 73 6161. Zajímavostí je, že oproti jiným evropským státům se v Čechách přilnavost stanovuje primárně dle české, nikoliv evropské normy.

Poslední část této diplomové práce je věnovaná stanovení vlastností Marshallových zkušebních těles složených z atypické asfaltové směsi s maximální zrnem 8 mm a s alternativními filery, které byly dávkovány v jednotném množství. Primárně byla na zkušebních tělesech stanovena nedestruktivně tuhost asfaltové směsi, která byla porovnána s tuhostí referenčního vzorku obsahující vápencovou moučku. Vzhledem k tomu, že je práce věnovaná problematice negativních účinků vody na trvanlivost asfaltových směsí, byla suchá a mokrá zkušební tělesa podrobena zkouškám na stanovení Marshallovy tuhosti, Marshallovy stability a pevností v příčném tahu, které jsou ukazatelem odolnosti (trvanlivosti) asfaltových směsí proti účinkům vody. Zároveň byly do hodnocení zahrnuty výsledky z hodnocení přilnavostí u variant s filery, a byla navržena vhodná alternativa k referenčnímu fileru (vápencové moučce).

Práci uzavírá shrnutí získaných teoretických a praktických poznatků a na jejich základě je uvedeno shrnující doporučení.

2. ASFALTOVÁ SMĚS

Obecně lze říci, že asfaltová směs je tvořena asfaltovým pojivem a kamenivem, případně další přísadou, která zlepšuje její vlastnosti. Kamenivo slouží primárně jako kostra celé směsi, asfaltové pojivo pak celou směs "stmeluje" dohromady. Výběr vstupních materiálů je závislý zejména na dopravním zatížení, návrhové úrovni porušení a klimatických podmínkách. [1] [2]

Základním dělení směsí je dle způsobu výroby, způsobu pokládání a složení na hutněné a lité směsi. Hlavním rozdílem je počet tzv. fází ve směsi. Hutněné směsi obsahují tři (pevnou = kamenivo, kapalnou = pojivo, plynnou = vzduchové mezery), lité směsi obsahují pouze dvě – pevnou a kapalnou, plynná fáze chybí. Dalším podstatným rozdílem je přenos zatížení. U hutněných směsí je hlavní přenašečem zatížení kamenivo, kdyžto u litých tuto funkci zajišťuje pojivo. Lité směsi navíc není nutné hutnit. [1] [2]

Detailnější rozdělení klasifikuje směsi podle toho, pro kterou konstrukční vrstvu se směs používá. Do krytových vrstev vozovek se používají směsi: ACO – asfaltový beton pro obrusné vrstvy, ACL – asfaltový beton pro ložné vrstvy, BBTM – asfaltový koberec pro velmi tenké vrstvy, SMA – asfaltový koberec mastixový, PA – asfaltový koberec drenážní, AKO – asfaltový koberec otevřený. VMT – asfaltová směs s vysokým modulem tuhosti a speciální asfaltové směsi pro obrusné vrstvy, které omezují hluk. Do podkladních vrstev vozovek se používají pouze dvě směsi: ACP – asfaltový beton pro podkladní vrstvy a VMT. [1] [3]

V následujících podkapitolách jsou uvedeny a charakterizovány jednotlivé materiály, které byly použity v praktické části pro výrobu asfaltových směsí a pro výrobu vzorků kameniva obaleného asfaltovým pojivem.

2.1. ASFALTOVÉ POJIVO

Nejznámějším asfaltovým pojivem je samotný asfalt, který patří do skupiny látek, které se nazývají živice. Živice se získávají buď volně z přírodních zdrojů, nebo je lze vyrobit uměle. Pro stavbu silničních staveb se pro své vlastnosti nejvíce využívají ropné silniční asfalty. [2] [3]

Asfalt je složen ze 4 hlavních vysokomolekulárních uhlovodíkových skupin - malténů, asfalténů, asfaltových pryskyřic a ostatních látek. Každá z uvedených skupin ovlivňuje jiné vlastnosti asfaltu. Maltény jsou nepolární olejové látky, které tudíž ovlivňují

visko-elastické chování pojiva, asfaltény jsou pevné částice a tvoří kostru pojiva, jsou rozpuštěny v malténech a mají vliv na přílnavostní charakteristiky pojiva. Skupina asfaltových pryskyřic tvoří rozhraní mezi asfaltény a maltény a výrazně ovlivňují lepivost, tažnost a adhezní vlastnosti pojiva. Poslední skupina uhlovodíků se skládá především z atomů dusíku, uhlíku a síry a jejich poměr v asfaltu významně ovlivňuje jeho vlastnosti. Pokud je potřeba původní vlastnosti asfaltu změnit nebo zlepšit, použijí se modifikátory, kterými jsou například kaučuk, syntetické polymery, vosky apod. [2]

Ačkoliv je asfalt klasifikován jako viskózní tekutina, za normální teploty se nachází v pevném stavu a je proto špatně zpracovatelný. Aby bylo docíleno správného obalení kameniva, je nutné asfalt zahřát na požadovanou předepsanou teplotu. [2]

K označení druhu asfaltového pojiva se používá číslo penetrace, které udává, jak hluboko pronikne jehla do pojiva při teplotě přibližně 25 °C. Výsledná tzv. penetrační jednotka je desetinásobná hodnota průniku jehly v milimetrech. Polymerem modifikované asfalty se navíc označují hodnotou minimálního bodu měknutí. [2]

V následujících podkapitolách jsou uvedeny silniční asfalty, které byly použity v praktické části této diplomové práce. Jedná se o silniční asfalt 50/70 a o polymerem modifikované asfalty PMB 25/55-60 a PMB 45/80-55.

2.1.1. SILNIČNÍ ASFALT 50/70

Silniční asfalt 50/70 musí splňovat podmínky uvedené v normě ČSN 65 7204 Asfalty a asfaltová pojiva – Silniční asfalty.

Vlastnosti	Jednotka	Zkušební norma	Požadavek
Penetrace při 25 °C	0,1 mm	EN 1426	50 - 70
Bod měknutí	°C	EN 1427	46 - 54
Zbýlá penetrace při 25 °C	%	EN 12607-1 EN 1426	≥ 50
Zvýšení bodu měknutí	°C	EN 12607-1 EN 1427	≤ 9*) ≤ 11**)
Změna hmotnosti po stárnutí	%	EN 12607-1	≤ 0,5
Bod vzplanutí	°C	EN ISO 2592	≥ 230
Rozpustnost	%	EN 12592	≥ 99,0
Bod lámavosti podle Fraasse	°C	EN 12593	≤ -8

*) Požadavek v Polsko: PN-EN 12591:2010

***) Požadavek v ČR: ČSN EN 12591:2009

Tabulka 1 - Vlastnosti silničního asfaltu 50/70 [4]

2.1.2. POJIVO PMB 25/55-60

Polymerem modifikovaný asfalt musí splňovat podmínky uvedené v normě ČSN 65 7222-1 Asfalty a asfaltová pojiva – Silniční modifikované asfalty – Část 1: Polymerem modifikované asfalty.

Vlastnost	Jednotka	Zkušební norma	Požadavek
Penetrace při 25 °C	0,1 mm	EN 1426	25-55
Bod měknutí	°C	EN 1427	≥60
Rozsah plasticity	°C	N/A	TBR
Silová duktilita	J/cm2	EN 13589 EN 13703	≥2 při 10°C
Změna hmotnosti po RTFOT	%	EN 12607-1	≤0,5
Zbýlá penetrace při 25°C po RTFOT	%	EN 12607-1 EN 1426	≥60
Zvýšení bodu měknutí po RTFOT	°C	EN 12607-1 EN 1427	≤8
Bod vzplanutí	°C	EN ISO 2592	≥235
Bod lámavosti podle Fraasse	°C	EN 12593	≤-12
Vratná duktilita při 25 °C	%	EN 13398	≥60
Skladovací stabilita Rozdíl v bodech měknutí	°C	EN 13399 EN 1427	≤5
Pokles bodu měknutí po RTFOT	°C	EN 12607-1 EN 1427	NR* TBR**
Vratná duktilita při 25°C po RTFOT	%	EN 12607-1 EN 13398	≥50

Tabulka 2 - Vlastnosti silničního asfaltu PMB 25/55-60 [5]

2.1.3. POJIVO PMB 45/80-55

Polymerem modifikovaný silniční asfalt musí splňovat podmínky uvedené v normě ČSN 65 7222-1 Asfalty a asfaltová pojiva – Silniční modifikované asfalty – Část 1: Polymerem modifikované asfalty

Vlastnost	Jednotka	Zkušební norma	Požadavek
Penetrace při 25 °C	0,1 mm	EN 1426	45-80
Bod měknutí	°C	EN 1427	≥55
Rozsah plasticity	°C	N/A	TBR
Silová duktilita	J/cm2	EN 13589 EN 13703	≥3 při 5°C
Změna hmotnosti po stárnutí	%	EN 12607-1	≤0,5
Zbýlá penetrace při 25°C	%	EN 12607-1 EN 1426	≥60
Zvýšení bodu měknutí	°C	EN 12607-1 EN 1427	≤8
Bod vzplanutí	°C	EN ISO 2592	≥235
Bod lámavosti podle Fraasse	°C	EN 12593	≤-15
Vratná duktilita při 25 °C	%	EN 13398	≥50* ≥70**
Skladovací stabilita Rozdíl v bodech měknutí	°C	EN 13399 EN 1427	≤5
Pokles bodu měknutí	°C	EN 12607-1 EN 1427	NR* TBR**
Vratná duktilita při 25°C po EN 12607-1	%	EN 12607-1 EN 13398	≥50

Tabulka 3 - Vlastnosti silničního asfaltu PMB 45/80-55 [6]

2.2. KAMENIVO

Jedná se o anorganický sypký materiál, který tvoří převážnou část asfaltové směsi. Obsahuje zrna různých velikostí, avšak maximální velikost zrna je 125 mm. Dle původu ho můžeme dělit na přírodní, umělé a recyklované a dle vzniku zrn na těžené, těžené předrcené a drcené. Vzniká rozpojováním horniny a právě na mineralogickém složení dané horniny závisí vlastnosti samotného kameniva. Každé kamenivo musí odpovídat platným normám nebo technické dokumentaci a musí mít platný certifikát. [7]

Jelikož se jedná o směs zrn různých velikostí je nutné kamenivo roztřídit pomocí prosévací zkoušky do tzv. frakcí. Pro jednotlivé zkoušky se pak použije předepsaná frakce, v našem případě se jednalo hlavně o úzkou frakci 8/11. [7]

Při zkoušení přilnavosti a odolnosti proti účinkům vody na vzorcích kameniva obaleného kamenivem a u asfaltových směsí byla použita kameniva Brant, Chlum, Libodřice, Markovice, vysokopecní struska z haldy Koněv v Kladně, Zbečno a Zbraslav. Pojmenování vychází z názvů kamenolomů, ve kterých je kamenivo těženo, vyjma strusky, která nese název dle typu a místa deponie tohoto materiálu.

Předpokládá se, že dobré adhezní vlastnosti kameniva jsou spojené s jeho mineralogickým složením, které (pokud bylo dostupné) je u každého kameniva uvedeno. Dále je u každého kameniva uvedena nasákavost, neboť by rovněž mohla mít nezanedbatelný vliv na adhezní vlastnosti kameniva.

2.2.1. BRANT



Obrázek 1 - Kamenolom Brant [8]

Kamenivo Brant je těženo v Lubné u Rakovníka firmou Froněk, spol. s.r.o. Konkrétně se jedná o žilní žulový porfyr, který místy dosahuje mocnosti až 100m. Hornina má

tmavě šedou až načervenalé šedou barvu, je výrazně porfyrická a obsahuje vyrostlice živců. Dalšími zastoupenými minerály v hornině jsou křemen, biotit, amfibol, zirkon, apatit a další. Přesné mineralogické složení nebylo bohužel zjištěno. Nasákavost frakce 8/11 byla stanovena na 1,0 % hm. kameniva. [9]

Kamenivo bylo využito rovněž jako filer. Oficiální zpráva uvádí, že nasákavost frakce 0/4 je 1,3% hm. kameniva. Pro filer budeme předpokládat tuto hodnotu. [9]

2.2.2. CHLUM



Obrázek 2 - Kamenolom Chlum [10]

Druhé uvedené kamenivo se získalo z lomu Chlum, který se nachází jižně od České Lípy. Těží se zde magmatická hornina znělec neboli fonolit. Přesné petrografické označení dle platné normy uvádí označení analcium-hauynický fonolit s granátem. Má nahnědle-šedou barvu s mírně modravými nebo hnědavými místy. Je jemnozrný nebo drobně porfyrický a v puklinách se mohou nacházet zrna kalcitu a zeolitu. Fonolit je z více jak 50 % tvořen živcem, dále jsou zde zastoupeny analcim (druh zeolitu), pyroxen, melanit (Ti-granát), apatit a minerály sodalitové skupiny. Oficiální zpráva o počáteční zkoušce kameniva uvádí následující mineralogické složení: [11]

Sanidin (draselný živec)	44%
- ve formě vyrostlic	5%
Sodalit (Sodalitová skupina)	16%
Pyroxen	10%
- ve formě vyrostlic	6%
Nefelin	18%
Titanit	1%



Obrázek 3 - Těžený znělec [10]

Nasákavost frakce 8/11 byla stanovena na 1,0 % hm. kameniva. [11]

2.2.3. LIBODŘICE



Obrázek 4 - Kamenolom Libodřice [12]

Kamenivo s tímto označením bylo získáno z Kamenolomu Libodřice, který se nachází západně od Kolína. Díky petrografickému uspořádání kutnohorského krystaliniku se zde drtí středně zrnitá hornina amfibolit, která je převážně tvořena plástevnatým a lesklým amfibolem a plagioklasem. Další minerály, které se nacházejí v lokálních puklinách, jsou křemen, kalcit, titanit a jiné. Mikroskopický výzkum prokázal následující složení: [13]

Amfibol	60%
Plagioklas	30%
Biotit + Křemen	6%
Titanit, Pyrit a ost.	4%

Typickými vlastnostmi této horniny jsou nazelenalé černo-šedé zbarvení, vysoká tvrdost a velká měrná hmotnost. Zrna jsou většinou velmi nepravidelná, mají drsný povrch a velmi ostré hrany. [13]



Obrázek 5 - Frakce 8/11 těžného kameniva [14]

Nasákavost frakce 8/11 byla stanovena na menší než 1,5 % hm. kameniva. [13]

2.2.4. MARKOVICE



Obrázek 6 - Kamenolom Markovice [15]

Dalším použitým kamenivem bylo kamenivo z lomu Markovice, který spadá pod firmu SILNICE ČÁSLAV - HOLDING, a.s. a nachází se nedaleko Čáslavi. Těží se zde hornina amfibolit, který je z více jak 50 % tvořen amfibolem a místy je pokryt křídovými sedimenty. [16]



Obrázek 7 - Ilustrační foto štěrku z amfibolitu [17]

2.2.5. VYSOKOPECNÍ STRUSKA DESTRO

Obecný pojem struska označuje vedlejší odpadní produkt, který vzniká při výrobě železa či oceli ve vysokých pecích. Pokud je struska dále drcena a tříděna, jedná se o umělé drcené kamenivo, které se dá využít jako ekvivalent k přírodnímu kamenivu ve stmelených i nestmelených konstrukčních vrstvách vozovek. [18]

Vlastnosti kameniva se odvíjejí od vlastností železné rudy, ze které struska vznikla a také od množství koksu, které bylo při výrobě použito. Hlavní požadavek je kladen na dostatečně vysoký obsah sklovité fáze ve strusce. [18]

V této práci byla použita vzduchem chlazená struska, která se těží v areálu bývalé deponie (haldy) Poldi Kladno firmou Miroslav Karas - Destro. Hlavními minerály ve strusce jsou melilit, mullit, pyroxen, plagioklas a sklo. Struktura je hemikrystalická a textura bohatě dutinatá. Oficiální zpráva o petrografickém popisu uvádí následující složení kameniva: [19]

Melilit	40%
Mullit	15%
Pyroxen	10%
Plagioklas	5%
Sklo	30%



Obrázek 8 - Ilustrační foto strusky [20]

Nasákavost je velmi vysoká, konkrétně 5,7 % hm. kameniva. [19]

2.2.6. ZBEČNO



Obrázek 9 - Kamenolom Sýkořice [21]

Celým názvem Sýkořice - Zbečno, se získává ve třech stupních drcení převážně sedimentárních hornin s převahou břidlic, prachovců a drob. Celé ložisko se nachází v CHKO Křivoklátsko a těžba je zprostředkována lomem Sýkořice. Hlavní těženou horninou jsou jemnozrnné nazelenalé metabazalty (spility), jejichž hlavními minerály jsou plagioklasy a pyroxeny. Mezi další minerály, které se v hornině dále mohou objevit, patří křemen, kalcit a chlorit. [13]



Obrázek 10 - Frakce 8/11 těženého kameniva [21]

Nasákavost kameniva se pohybuje v rozmezí 0,2 až 1,8 % hm. kameniva.

V praktické části této diplomové práci bylo toto kamenivo použito pro výrobu atypické asfaltové směsi popsané v kap. 4.1.

2.2.7. ZBRASLAV



Obrázek 11 - Kamenolom Zbraslav [22]

Kamenolom Zbraslav, který se nachází jižně od Prahy, zajišťuje těžbu velmi slabě metamorfovaných hornin, klasifikovaných jako spility s vyrostlicemi plagioklasu. K nejvíce zastoupeným horninám v ložisku patří popelavé tufy s příměsí písku (křemen, živec). Hlavními minerály v hornině jsou křemen, živec, kalcit a chlorit. Dále můžeme v kamenivu nalézt stopy sedimentů, a to hlavně tufitické a jílovité břidlice se značnou příměsí sulfidu. [13]



Obrázek 12 - Frakce 8/11 těžného kameniva [23]

Nasákavost se pohybuje v rozmezí 0,2 až 1,5 % hm. kameniva. [13]

2.3. PŘÍDAVNÉ FILERY

Zrna kameniva, která propadnou sítím s velikostí ok 0,063 mm, souhrnně označujeme jako filer, odprašek, nebo také jako kamenná moučka. Vzniká jako vedlejší produkt při úpravě kameniva a v asfaltové směsi doplňuje hrubé kamenivo, čímž pomáhá zlepšit přilnutí asfaltového pojiva ke kamenivu. Pokud se vyrobí samostatně z minerálů, označujeme ho jako přídatný filer. [7] V této práci byly použity filery z lokalit Brant, Bystřec, Chrtníky, Litice, Libochovany, Plešovice a Velké Hydčice. Pouze vápencová

moučka z lokality Velké Hydčice se klasifikuje jako přídatný filer, ostatní filery se v kamenolomech označují jako odprašky, nebo se do kamenolomu vrací z obaloven jako vratné filery.

Po konzultaci s Dr. M. Faltusem z Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy byl k fileru Plešovice přidán mastek, na základě předpokladu, že by mohl mít pozitivní vliv na zlepšení přilnavosti pojiva ke kamenivu.

2.3.1. BRANT

Popis těžené horniny je uveden v kap. 2.2.1.

2.3.2. BYSTŘEC



Obrázek 13 - Kamenolom Bystřec [24]

Tento filer, pocházející z kamenolomu společnosti Eurovia, byl získán separací z frakce 0/4 suchým gravitačním tříděním pomocí technologie Anivi. Původní hornina je tvořena středně až hrubě zrnitou biotickou rulou až žulo-rulou, která má tmavě šedou barvu; místy se v ní nachází v prouzcích živce. Okolo této horniny se v řádech centimetrů až metrů vytváří ohraničení v podobě jemnozrné ruly s bílým proužkováním. Hlavními minerály v hornině jsou živce (plagioklasy, ortoklasy), křemen a biotit. [13]



Obrázek 14 - Těžená hornina - rula [24]

Nasákavost kameniva se pohybuje v rozmezí 0,2 až 0,9 % hm. kameniva. Nasákavost frakce 0/4 byla stanovena na 0,9 % hm. kameniva. [13] [25]

2.3.3. CHRTNÍKY



Obrázek 15 - Kamenolom Chrtníky [45]

Dalším kamenolomem společnosti EUROVIA Kamenolomy, a.s., ze kterého byl použit filer pro účely této práce, je lom Chrtníky - Chotice, který se nachází nedaleko Přelouče. Zde je těžena hornina diabas (dolerit), který je buď "čerstvý" nebo i mírně zvětralý. Typickými vlastnostmi kameniva je šedozelená až skvrnitá barva, středně zrnitá až hrubozrnná struktura a kolmá odlučnost ke směru žíly. V hornině se nacházejí nerosty plagioklasy, pyroxeny (podél puklin se mění na amfiboly) a chlority. [13]

Nasákavost frakce 0/4 byla stanovena na 0,9 % hm. kameniva. [26]

2.3.4. LITICE



Obrázek 16 - Kamenolom Litice [46]

Lom Litice se nachází nedaleko Plzně a opět patří společnosti EUROVIA Kamenolomy, a.s. Těží se zde hornina spilit, který je nazelenale tmavošedý a je velmi jemnozrný. Na

puklinách se vyskytují hnědé povlaky. Díky regionální metamorfóze je hornina tvořena amfibolem, albanitem, chloritem, kalcitem, křemenem, dolomitem a tremolitem. V roce 2013 (revize 2016) byla v těžené hornině detekována přítomnost aktinolitu (azbestového silikátu) a volného oxidu křemičitého (SiO_2). Tyto prvky mohou mít negativní vliv na lidské zdraví, zvláště pokud je osoba dlouhodobě vystavena respirabilnímu prachu, proto je doporučeno používat ochranné pomůcky při práci s kamenivem, obzvláště pak s filerem. [13]



Obrázek 17 – Těžená hornina - spilit [46]

Nasákavost frakce 0/2 byla stanovena na 0,5 % hm. kameniva. [27]

2.3.5. LIBOCHOVANY



Obrázek 18 - Kamenolom Libochovany [47]

Filer Libochovany byl dodán z lomu nacházejícího se mezi Litoměřicemi a Ústím nad Labem. Tato oblast je typická výskytem magmatických hornin, v tomto případě čediče. Ten má modravě černošedou barvu, je velmi jemnozrný a tvoří výplň sopouchu, který proráží křídové slínovce a tufy. Do hloubky přechází v olivínový čedič. [13]



Obrázek 19 - Těžená hornina - čedič [47]

Nasákavost frakce 0/2 byla stanoven na hodnotu 1,9% hm. kameniva. [28]

2.3.6. PLEŠOVICE



Obrázek 20 - Kamenolom Plešovice [48]

Lom Plešovice patří mezi největší lomy v České republice a nachází se nedaleko Českého Krumlova. Hornina, která se zde těží, se nazývá granulitová rula, zkráceně též granulit. Má šedou, šedobílou barvu s hnědou kropenatostí. Nejhojněji zastoupenými minerály v hornině jsou křemen a živec, které jsou prorůstány šupinkami biotitu. Dále se zde vyskytují muskovit, granát, turmalín, apatit atd. Hornina je velmi masivní, kompaktní a nevykazuje výrazné diskontinuity. [13]



Obrázek 21 - Těžená hornina - rula frakce 0/4 [49]

Nasákavost frakce 0/2 byla stanovena na 0,95% hm. kameniva. [29]

2.3.7. PLEŠOVICE + MASTEK

Mastek je nejměkčí minerál na stupnici tvrdosti, který se vyznačuje vysokou chemickou odolností a žáruvzdorností. Má nejčastěji bílou nažloutlou nebo světle zelenou barvu a na dotek je mastný. Je tvořen atomy hořčíku, křemíku, kyslíku a vodíku, které způsobují, že je v kyselinách nerozpustný. Textura mastku je šupinatá, drobně zrnitá až celistvá. Vzniká z hydrotermální alterace ultrabazických hornin a při regionální metamorfóze dolomitů. [30]



Obrázek 22 – Celistvý mastek a jemně mletý mastek [30] [50]

Mastek byl získán z lokality Gemerská Poloma, která se nachází na Slovensku a patří k největším nalezištím této horniny na světě.

2.3.8. VÁPENCOVÁ MOUČKA (CaCO_3) Z LOKALITY VELKÉ HYDČICE

Jedná se o bílou krystalickou látku, která se získává tzv. pálením vápna z vápence. Vápencová moučka neboli uhličitán vápenatý se v přírodě vyskytuje převážně jako minerál kalcit a aragonit. [31]

Vápenec patří mezi sedimentární horniny a jeho struktura je celistvá až zrnitá. Hlavním zastoupeným minerálem je kalcit, který je sám o sobě bezbarvý, ale ostatní přísady ho mohou zbarvovat do odstínů od šedé po šedočernou. Pokud je vápenec vystaven vysoké teplotě a tlaku, metamorfózou vznikne mramor. Hlavní produkt, který se z vápence získává je vápno a cement. [31]

Pro účely této práce byl použit velmi jemně mletý vápenec od firmy HASIT Šumavské vápenice a omítkárny s.r.o., který je těžen v lomu blízko obce Velké Hydčice.

2.4. PŘILNAVOSTNÍ PŘÍSADY

V praktických měřeních byla kameniva testována s pojivem 50/70, které bylo zlepšeno přilnavostními přísadami, konkrétně byly použity tři přísady: Impact 8000, DP500T a Iterlene SL/100 PLUS. Bohužel jsou uvedeny jen obecné informace o jednotlivých přísadách, protože výrobci nechtějí tyto informace poskytovat.

Do každého testovaného vzorku bylo přidáno vždy 0,3 % hm. pojiva.

2.4.1. IMPACT 8000 (IMPACT (R) 7000)

Jedná se o chemickou přísadu na bázi aminů a ligninu. Lignin je důležitou stavební složkou dřeva, kde plní hydrofobní funkci a zajišťuje dřevu pevnost především v tlaku. [32] Bohužel více informací se nepodařilo získat.

2.4.2. DP500T

Tato přilnavostní přísada pochází od francouzské firmy Rhodia (dnes již Solvay) a její původní označení bylo Rhodoval DP 500. Jedná se o organickou oktylfosforickou kyselinu ($C_8H_{19}O_3P$), která má čirou barvu a disponuje nízkou viskozitou. Obecně se tato kyselina využívá ve farmacii pro přípravu řady chemických produktů a sloučenin. Kyselina je chemicky podpořena hydroxyapatitem vápenatým a využívá je jako organický stavební element. Dále se využívá například v oblasti dentálního lékařství jako inhibitor koroze, protože chrání metalické povrchy před vznikem rzi. Z hlediska silničního stavitelství lze tuto přísadu zařadit do skupiny látek, které jsou založené na bázi fosforečných sloučenin. [61]

2.4.3. ITERLENE SL/100 PLUS

Přísada Iterlene patří do skupiny silanů, konkrétně se jedná o sloučeninu (3-glycidoxypropyl)trimethoxysilane, která je vyráběná společností Iterchimica s.r.l. Jedná se o tekutou přísadu, která neobsahuje aromatické oleje, které jsou nebezpečné pro lidské zdraví a které omezují přepravní podmínky přísady. Výrobek by měl zajišťovat vysokou úroveň a stabilitu přilnavosti mezi pojivem a kamenivem při jakýchkoliv pracovních podmínkách. Také by měl zlepšovat zpracovatelnost směsi. [32] [33]

Přísada se dává do nádrže s asfaltem, nebo při dávkování asfaltu. Velikost dávky je závislá na množství asfaltu, složení kameniva a na provozních podmínkách [32]

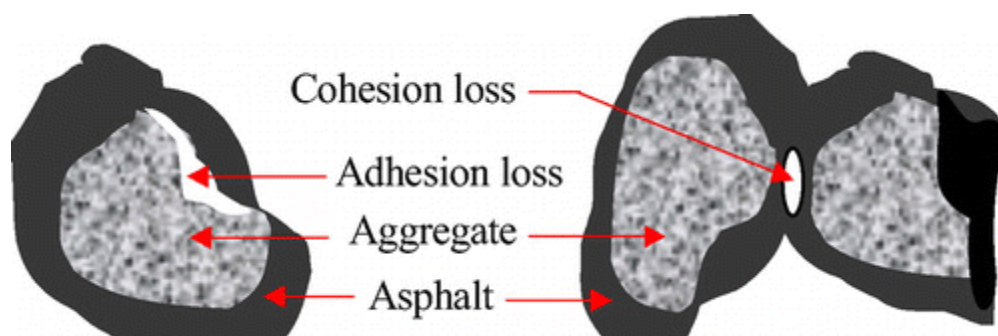
3. PŘILNAVOST A ODOLNOST PROTI ÚČINKŮM VODY

V této kapitole je vysvětlena definice adheze a jsou zde popsány jednotlivá hlediska, podle kterých je možné adhezi klasifikovat. Dále jsou zde popsány vlivy jednotlivých složek asfaltové směsi pomocí vybraných dostupných studií, které se danou problematikou zabývaly. K závěrům vybraných citovaných pramenů bylo přihlédnuto v praktické části této diplomové práce.

3.1. ADHEZE × KOHEZE

Existuje hned několik hledisek, jak adhezi definovat. Například z chemického hlediska je adheze důsledkem elektrostatického působení Van der Waalsových sil a kovalentních chemických vazeb mezi ionty. Z hlediska termodynamiky je adheze energie, která se uvolňuje ze styku dvou různých materiálů a v neposlední řadě se dá adheze interpretovat jako síla, kterou je nutno vynaložit k oddělení dvou přiléhajících ploch různých materiálů. Jelikož se jedná o komplikovaný problém, je nutné adhezi posuzovat nejlépe ze všech hledisek dohromady. [34] [35]

Aby bylo docíleno požadovaného spojení dílčích částí asfaltové směsi, je třeba, aby jednotlivé části měly dostatečnou přilnavost a tvořily kompaktní soudržný systém. Adheze (přilnavost) je tedy vzájemná interakce mezi kamenivem a pojivem, která vede k pevnému přilnutí pojiva na zrna kameniva. Vzájemnému propojení obalených zrn se říká koheze (soudržnost). U asfaltových směsí se můžeme setkat s adhezním a kohezním porušením, příp. s jejich kombinací. Adhezní porušení nastává při ztrátě přilnavosti mezi pojivem a zrnem kameniva, naopak při kohezním porušení odlomené zrno zůstává stále obaleno. Hlavní příčinou vzniku porušení směsi je vliv atmosférických podmínek, ve kterých se směs nachází. Vlivem slunečního záření, mechanického opotřebování, teplotním změnám a vodě, směs degraduje a snižuje se její životnost. Aby se poruchám předcházelo, jsou stále testovány a vyvíjeny nové typy asfaltových pojiv a přilnavostních přísad, a rovněž jsou dopodrobna zkoumány jednotlivé faktory ovlivňující přilnavost. [34] [35]



Obrázek 23 - Rozdíl mezi adhezním a kohezním porušením [51]

Adheze v asfaltové směsi je závislá na chemickém složení asfaltu, povrchových vlastnostech hrubého kameniva a na tvaru, mikrotextuře a pórovitosti jemných částic. Právě jemné částice díky svému relativně velkému povrchu mohou mít nepříímý vliv na přilnavost mezi asfaltem a hrubým kamenivem. Problém rovněž nastává při samotném obalování kameniva pojivem, neboť asfalt je hydrofobní materiál a má výborné hydroizolační vlastnosti, zatímco kamenivo je velmi často hydrofilní a snadno přilne spíše k molekulám vody, než k asfaltu. Proto je důležité, aby při obalování mělo kamenivo předepsanou teplotu a nebylo nadměrně dlouho vystaveno vlhkému prostředí. Časem by totiž mohlo dojít k tzv. strippingu, neboli obnažení kameniva a asfaltový film by se zcela oddělil od kameniva. [34] [35]

3.2. ZÁKLADNÍ VAZEBNÍ SÍLY ČÁSTIC

V této kapitole jsou popsány vazby, které vznikají na úrovni atomů a molekul a mají významný podíl na výsledné přilnavosti a soudržnosti asfaltových směsí.

3.2.1. FYZIKÁLNÍ VAZBY

Interakční síly slouží k porozumění přilnavosti mezi pojivem a kamenivem. Fyzikální spojení obou materiálů je zajištěno slabými elektrickými silami, které jsou výsledkem kmitání částic. Zde jsou uvedeny krátké charakteristiky jednotlivých interakcí fyzikálních vazeb. [35]

□ ELEKTROSTATICKÁ INTERAKCE MEZI IONTY

Coulombovy síly slouží k základnímu pochopení mezimolekulárních sil. Jedná se o elektrostatické síly mezi dvěma různě nabitými částicemi - ionty, které hrají primární roli ve vytváření iontové vazby. V souladu s Coulombovým zákonem vzniká ideální iontová vazba tak, že kationty a anionty vstoupí do vzájemné interakce (přitahují se), čímž každý pár (aniont - kationt) dosáhne elektrostatické stability. Výsledná elektrostatická síla je velmi pevná a k jejímu překonání je potřeba vyvinout značnou energii. [35]

□ ELEKTRODYNAMICKÁ INTERAKCE VLIVEM VAN DER WAALSOVÝCH SIL

Přibližně v roce 1893 byly publikovány hlavní myšlenky fyzika Johannese D. van der Waalse, mimo jiné i upravená stavová rovnice ideálního plynu¹. Síly, které způsobují odchylku vlastností plynu od ideálního plynu, byly pojmenovány jako van der Waalsovy síly. Později bylo zjištěno, že síly vytvářejí tři interakce a tyto interakce byly pojmenovány po fyzicích, kteří je objevili. [35]

Jedná se o interakce:

dipól - dipól	= Keesomovy orientované síly
dipól - indukovaný dipól	= Debyeovy indukované síly
indukovaný dipól - indukovaný dipól.	= Londonovy disperzní síly

Bylo zjištěno, že Londonovy síly většinou převažují zbylé, avšak v porovnání s iontovými nebo kovalentními silami jsou van der Waalsovy síly velmi slabé. [35]

3.2.2. CHEMICKÉ VAZBY

Obecně lze říci, že chemické vazby jsou způsobeny výměnou/sdílením elektronového páru mezi atomy tak, aby bylo docíleno vyváženého elektronového uspořádání. Vazby jsou závislé na elektronegativitě atomu prvku a vedou ke vzniku nových molekul. Existují dva druhy chemických vazeb. První je kovalentní vazba, druhá interakce spočívá v darování elektronového páru jiné molekule prvku. Oba způsoby jsou krátce charakterizovány v následujících odstavcích. [35]

□ KOVALENTNÍ VAZBA

Při této interakci dochází k výměně jednoho nebo více elektronů z každého ze zúčastněných atomů a vede k vytvoření nové molekuly. Jedná se o velmi silnou vazbu, která se nejčastěji vyskytuje u atomů organických molekul a u anorganických látek s krystalovou mřížkou ze stejných atomů (např. diamant, křemík...). Dle rozdílu elektronegativit prvků rozlišujeme polární a nepolární kovalentní vazbu. [35]

¹ Ideální plyn je dokonale stlačitelný, tekutý a je bez vnitřního tření.

□ KOORDINAČNÍ VAZBA

Tento typ interakce je také znám pod pojmem donor-akceptorová vazba a dochází k ní u dvou molekul nebo iontů. Princip spojení spočívá v tom, že jedna z molekul (donor) daruje osamělý elektronový pár jiné molekule (akceptoru), která ho přijme. Podmínkou je, že druhá molekula musí mít nedostatek elektronů a reaguje na nabízený elektronový pár. Vazba je velmi podobná kovalentní, ale částečně se chová jako vazba iontová. [35]

3.3. DEFINICE ADHEZE

Jak už bylo zmíněno, na přilnavost lze nahlížet z více hledisek. Pro docílení komplexního porozumění přilnavosti mezi kamenivem a pojivem, je vhodné jednotlivá hlediska vnímat dohromady.

V tomto oddíle jsou popsány a krátce charakterizovány jednotlivé definice adheze.

3.3.1. ADHEZE Z HLEDISKA MECHANIKY

Adheze z hlediska mechaniky vychází z teorie, že spojení systému pojivo-kamenivo je zajištěno proniknutím pojiva do dutin a pórů kameniva. Výsledná mechanická přilnavost je založena na třech základních principech:

□ PRINCIP “LOCK AND KEY”

Princip “zámku a klíče” lze definovat tak, že adhezivní fáze směsi (pojivo) proniká do pórů pevné fáze směsi (kameniva), kde pevně zakotví a vytvoří pevné fyzické spojení. Pokud nedojde k plastické deformaci adheziva, zajišťuje spojení obou fází vysokou pevnost a omezenou schopnost pohybu obou fází. [35]

□ REDISTRIBUCE NAPĚTÍ

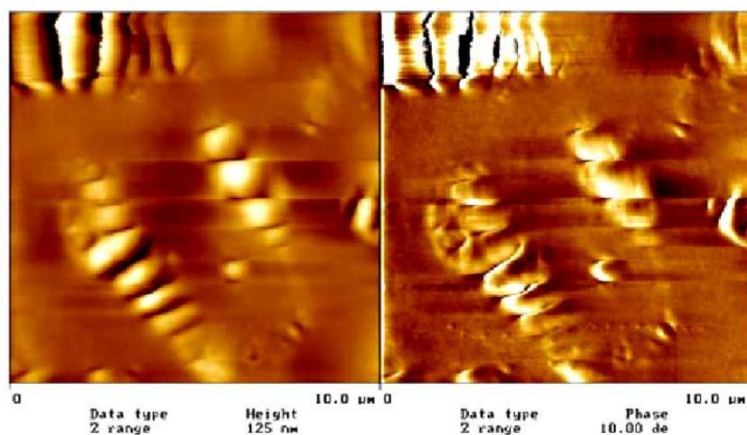
Princip rozdělení napětí vychází z předpokladu, že drsný povrch zabraňuje náhlému přenosu napětí, které vzniklo ve směsi a pomocí viskoelastického a plastického chování pojiva dokáže toto napětí pohltit. [35]

□ NÁRŮST PLOCHY POVRCHU

Poslední princip mechanické adheze je založen na jednoduché úvaze, která říká, že čím je povrch pevné fáze drsnější, tím je kontaktní plocha větší a tím je i výsledná přilnavost vyšší. Zároveň jsou na tomto efektu závislé i dvě předchozí uvedené interakce. [35]

Obecně přijímaným pravidlem se stalo tvrzení několika studií, které říká, že pórovité kamenivo s mírně hrubým povrchem vykazuje lepší přilnavostní vlastnosti než kamenivo s jinou povrchovou texturou. Rovněž povrchová textura kameniva ovlivňuje jeho smáčitelnost² nebo "potahovatelnost", proto lze hladké kamenivo obalit snadněji. Smáčitelnost zahrnující i vyplnění pórů také závisí na chemických reakcích na povrchu kameniva i pojiva a na viskozitě asfaltu. [35]

Při měření normálních a třecích povrchových sil mikroskopickými přístroji, byly na většině nespojitých míst detekovány struktury, které se nazývají "včely". Z měření třecích sil vyplynulo, že se na rozhraní různě tvrdých materiálů vytvoří jiná struktura pojiva (včela), než na zbytku materiálu. Předpokládá se, že za vznikem struktury "včel" na rozhraní vzduchu a pojiva, stojí asfaltény a jiné polární částice obsažené v asfaltu, které se vlivem teplotních změn při transportu oddělují od zbytku asfaltu. [35]



Obrázek 24 - Mikroskopických snímek "včel" [35]

3.3.2. ADHEZE Z HLEDISKA CHEMIE

Adheze z hlediska chemie je mezi kamenivem a pojivem velmi specifická. Tradiční pohled říká, že chemické vazby mezi kamenivem a pojivem produkují nové sloučeniny, které vytvářejí finální soudržnost směsi. [35]

² V práci se vyskytují pojmy smáčitelnost a smáčivost, která mají stejný význam. Slovo bylo přeloženo s anglické originálu „wettability“, což může vést k různým překladům.

Asfalty jsou tvořeny molekulami dlouhých uhlovodíkových řetězců a kruhů, které mají nepolární charakter, protože jsou nasycené. Molekuly mají relativně vyváženou distribuci elektronů, a proto mají malou tendenci se pohybovat. Navzájem jsou spojeny van der Waalsovými silami. Pokud se na chemicky aktivní místo na povrchu kameniva dostanou polární částice pojiva, dojde ke spojení obou materiálů, pokud se však na místa dostanou nepolární uhlovodíky, zcela tato aktivní místa zakryjí a “zamaskují” jejich skutečnou povahu. Tomuto efektu by mělo předcházet mísení směsi při vysoké teplotě, kdy polární částice pojiva naváží spojení s aktivním povrchem kameniva a nepolární částice jsou vytlačeny na povrch směsi. [35]

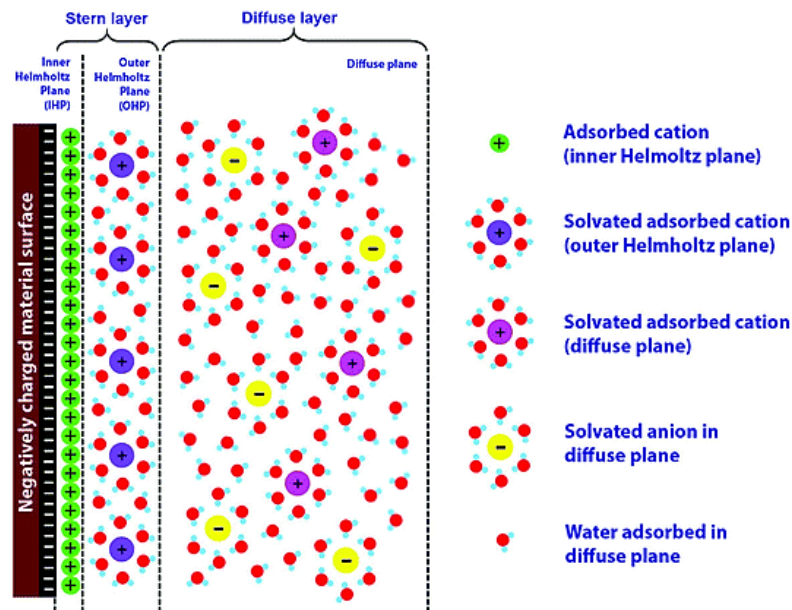
Problém chemické interakce mezi kamenivem a pojivem je velmi složitý, protože závisí na druhu použitých materiálů. Polární molekuly v asfaltu obsahují speciální místa, která mají schopnost se vázat na jiné molekuly asfaltu či na molekuly v povrchu kameniva. Těmto místům se též říká “aktivní místa” a slouží k popisu reaktivity makromolekul asfaltu s minerály kameniva. Jaká místa tyto vlastnosti vykazují je zahrnuto v tzv. funkčních skupinách, a zároveň je definováno, k jakým reakcím zde dochází při kontaktu pojiva s povrchem kameniva. Ukázalo se, že významnou roli v tvorbě vazby hrají karboxylové kyseliny, i když se obvykle vyskytují v asfaltu jen ve stopovém množství. [35]

3.3.3. ADHEZE Z HLEDISKA ELEKTROSTATIKY

Adheze z hlediska elektrostatiky je založena na schopnosti atomů pevných povrchů vykazovat elektronegativitu, nebo elektropozitivitu. Pokud se tedy setkají dva materiály (asfalt/kamenivo), které vykazují elektronegativitu a elektropozitivitu, dojde k přenesení elektronového páru a na rozhraní materiálů vznikne elektrická dvojrstva. Jednotlivé atomy jsou spojeny Coulombovými silami, tudíž můžeme adhezi charakterizovat jako sílu, kterou je potřeba vyvinout k překonání Coulombových sil. [35]

Většina materiálů vykazuje na povrchu elektrickou aktivitu jen v přítomnosti vody. Voda je vysoce permeabilní a představuje dobré rozpouštědlo pro ionty. Nabitý povrch vytváří elektrické pole, které začne přitahovat ionty. Vzniklá elektrická dvojrstva je tvořena nabitým povrchem materiálu a tzv. protiionty. Hlavním posláním protiiontů je neutralizovat nabitý povrch, přičemž vznikne jednoduchá vrstva molekul, zvaná Helmholtzova vrstva. Toto vysvětlení se však může jevit jako velmi jednoduché, protože zanedbává vznik difúzní vrstvy vlivem teplotního kolísání. Gouyova (difúzní) vrstva má tendenci vytlačovat protiionty směrem od nabitého povrchu. Komplexní vysvětlení poskytl Stern, který zkombinoval předchozí teorie tím, že elektrickou dvojrstvu rozdělil na dvě části - Sternovu vnitřní vrstvu, která je tvořena jednou nebo více vrstvami iontů

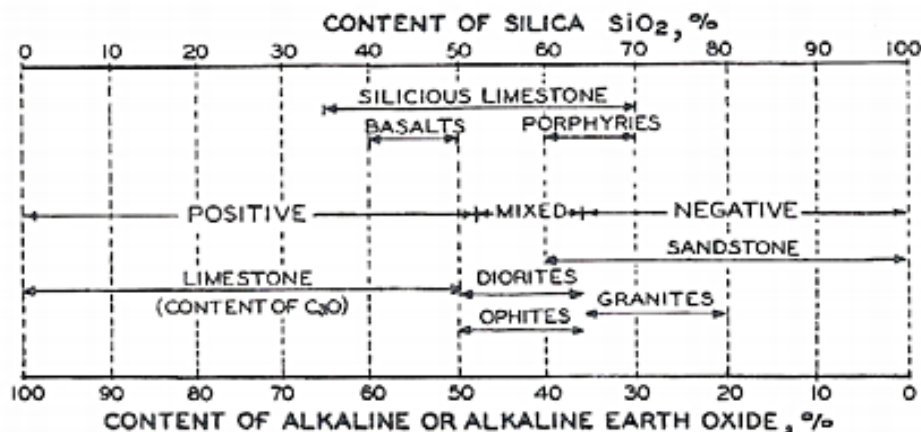
a tekutých molekul, které jsou součástí nabitého povrchu a na vnější Gouyovou difúzní vrstvou. [35]



Obrázek 25 - Schéma vrstev [52]

V minulosti bylo pomocí elektroforézy³ zkoumán problém obnažování kameniva vlivem vody. Došlo se k závěru, že i v suchém povrchu kameniva se vyskytuje vázaná voda v tloušťce několika molekul. Aby se došlo k úplnému vysušení kameniva, bylo by potřeba docílit teploty nejméně 1000 °C. Pro redukci množství molekul vody v kamenivu je proto potřeba dodržovat technologickou kázeň při výrobě asfaltových směsí. [35]

Každé kamenivo se skládá z minerálů, které mohou zapříčinit vznik elektricky nabitého povrchu kameniva. Například vápenec, který je z většiny tvořen uhličitánem vápenatým vykazuje na povrchu elektro pozitivní chování, protože pokud dojde k porušení kamene, na nových plochách zůstanou osamocené ionty vápníku a uhličitanu, které se okamžitě spojí s molekulami vody. [35]



Obrázek 26 - Závislost povrchového náboje kameniva na obsahu silikátových a alkalických látek [35]

³ Vědní obor zabývající se pohybem částic v elektrickém poli.

Dalším příkladem je křemenec nebo žula, které jsou z velké části tvořeny oxidem křemičitým. Po narušení struktury kamene dojde k porušení rovnováhy a volné ionty se spojí s molekulami vody, přičemž elektricky nabitý povrchu je tvořen silanovými skupinami atomů. [35]

Jelikož je pojivo tvořeno karboxylovými kyselinami ($R-COOH$), které se v přítomnosti vody štěpí na karboxylátový aniont ($R-COO^-$) a proton vodíku (H^+), vede tato skutečnost k tomu, že je zapříčiněno záporné nabití povrchu pojiva. [35]

3.3.4. ADHEZE Z HLEDISKA TERMODYNAMIKY

Adheze z hlediska termodynamiky vyplývá z absorpční teorie, která je nejpoužívanějším přístupem k popisu přilnavosti. Teorie vychází z faktu, že při blízkém kontaktu asfaltu a kameniva, vzniknou na rozhraní materiálů mezimolekulární síly, které mají za důsledek vznik pevného spojení obou materiálů. Tyto síly charakterizují termodynamické veličiny, například volnou povrchovou energii. [35]

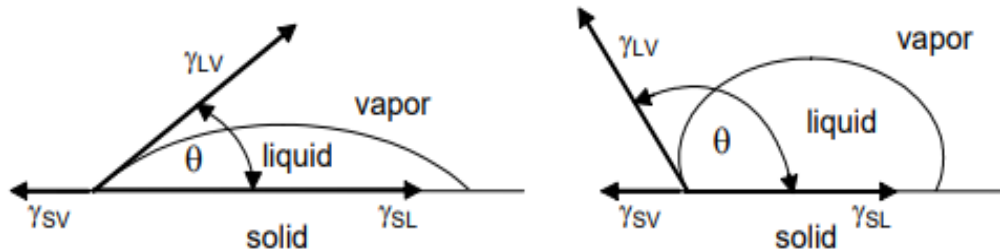
Termodynamika je věda, která se zabývá energetickými změnami, do kterých patří i tzv. spontánní reakce (proces). Tyto reakce mohou nastat ze dvou tendencí látky - entalpie a entropie. Entalpie je spontánní přeměna potenciální energie na práci a teplo, entropie je charakterizována jako spontánní míra neurčitosti systému. [35]

Pro popis adheze mezi pojivem a kamenivem nám slouží tzv. Gibbsova volná energie, která propojuje entalpii a entropii. Veličina představuje rozdíl mezi počátečním a konečným energetickým stavem a předpovídá, zda k danému procesu může dojít za daných teplotních a tlakových podmínek. Pokud vyjde Gibbsova energie záporná, znamená to, že došlo k uvolnění energie, která se přemění na práci a celý proces bude postupovat samovolně. V opačném případě se energie absorbuje z okolního prostředí. Rovnovážný stav nastane, pokud se Gibbsova energie bude rovnat nule. Z hlediska adheze je Gibbsova volná energie charakterizována jako nadbytečná volná energie na povrchu nebo v rozhraní materiálů. Taktéž je některými označována jako adhezni práce. [35]

Aby bylo možné určit smáčitelnost kameniva, byl zaveden pojem kontaktní úhel. Zpravidla poskytuje informaci o mezimolekulárních silách (konkrétně o silách na rozhraní) jednotlivých materiálů, pomocí tvaru tekuté kapky asfaltu na povrchu kameniva. Pokud je kontaktní úhel roven nule, kamenivo vykazuje dobrou smáčitelnost a pojivo se šíří spontánně. Smáčitelnost kameniva je rovněž závislá na koeficientu

rozprostření, který udává rozdíl mezi adhezivními a kohezními silami. Čím je koeficient rozprostření vyšší, tím je kamenivo lépe smáčitelné. [35]

Měření kontaktního úhlu:

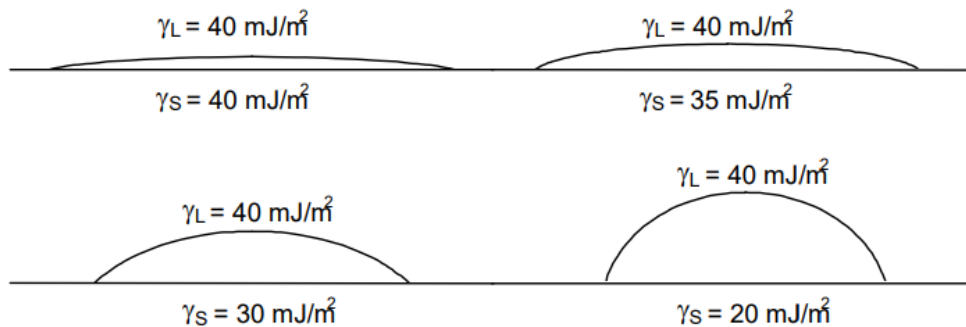


Obrázek 27 - Rozdílné kontaktní úhly různých druhů kameniva [35]

γ_{SV} volná povrchová energie pevné látky rovnovážná se saturovanou párou kapaliny

γ_{LV} povrchové napětí v kapalině rovnovážné s pevnou látkou

γ_{SL} volná energie na rozhraní pevné látky a kapaliny



Obrázek 28 - Závislost velikosti kontaktního úhlu na povrchovém napětí kameniva [35]

3.4. TEORIE MEZNÍ VRSTVY

Teorie mezní vrstvy nebo také teorie slabé mezní vrstvy vychází z předpokladu, že na rozhraní systému kamenivo-pojivo se vytvoří slabá vrstva, která má zásadní vliv na pevnost směsi. Pokud není zjištěna jiná příčina selhání adheze ve směsi, je to připisováno právě slabé vrstvě mezi oběma materiály. Vrstva může vzniknout z několika příčin, nejčastější případem je nedodržení postupu při přípravě kameniva, na jehož povrchu ulpí malé prachové částice (tím pádem i vzduch), organická hmota či voda. [35]

Další příčinou vzniku mezní vrstvy může být ve struktuře povrchu kameniva. Ukázalo se, že velmi pórovité kamenivo může fungovat jako síto pro částice asphaltového pojiva. Výsledkem je, že pojivo je na vnější straně velmi tvrdé a křehké. Proces je velmi

podobný krátkodobému stárnutí směsi, ke kterému dochází při výrobě asfaltové směsi, vlivem odpařování těkavých látek z asfaltu. [35]

Jiné vysvětlení uvádí, že vznik mezní vrstvy může být způsoben uvolněnou povrchovou energií při prvním kontaktu asfaltu s kamenivem. Měřením bylo zjištěno, že při prvotním ponoření kameniva do asfaltového pojiva, pojde k prodloužení uvolňování energie, jejíž nejvyšší hodnota by mohla reflektovat vznik počáteční vrstvy molekul, která se vstřebala do povrchu kameniva. Molekuly spojené s kamenivem se dále polarizují a jejich druhé konce slouží k navázání spojení s molekulami asfaltového pojiva. Okolo kameniva vznikne mezní vrstva, která údajně snižuje citlivost směsi na přítomnost vody a zvyšuje pevnost vazby. [35]

Vznik mezní vrstvy může být také připisován vysoké teplotě při mísení směsi, díky níž vznikne rozsáhlý kyselozásaditý komplex, který mění a shlukuje částice asfaltu na větší, a tyto shluky vytvářejí mezní vrstvu. Dalším následkem kyselozásaditého komplexu může být uzavření povrchu kameniva a nemožnost asfaltu přilnout ke kamenivu vlivem difúze vody. [35]

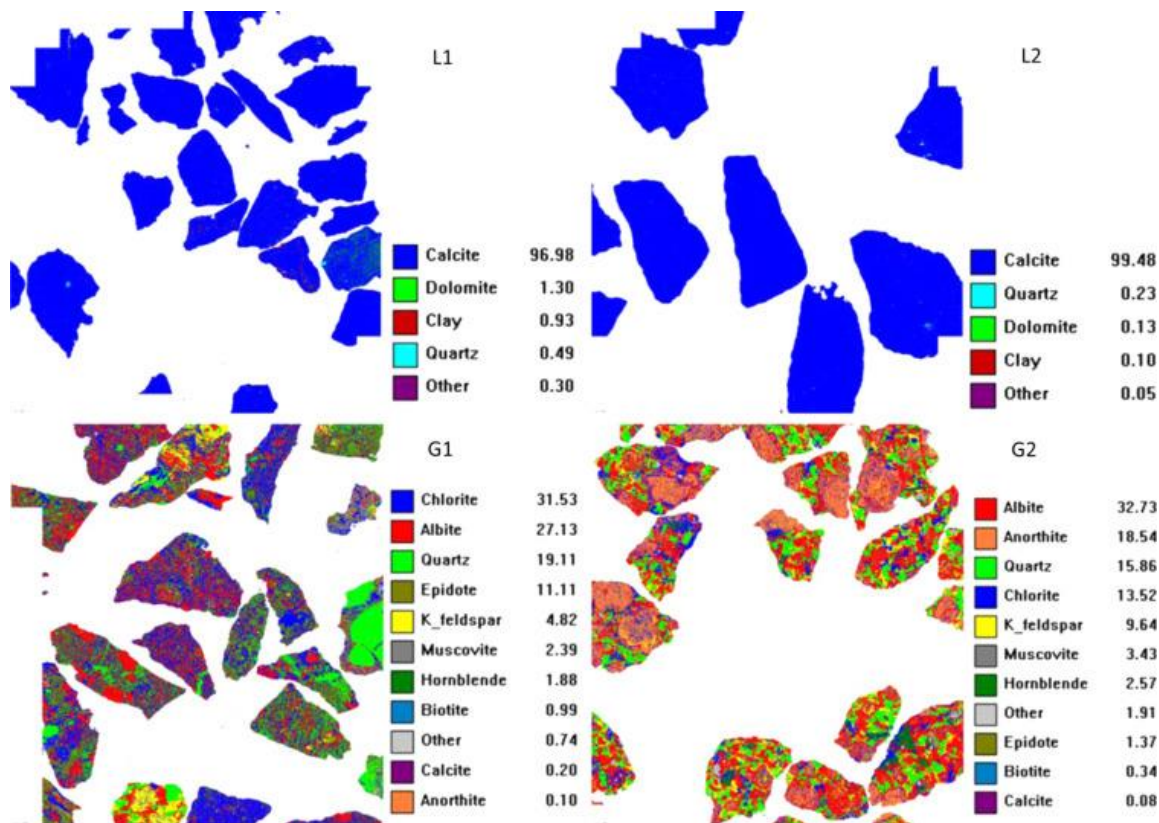
3.5. VLIV MINERALOGICKÉHO SLOŽENÍ KAMENIVA NA PŘILNAVOST

Kameniva vhodná k použití do asfaltové směsi vozovek, se většinou dovážejí z kamenolomu, který se nachází nejbližší stavbě, což má svá opodstatnění. Výsledná skladba vozovky se navrhuje dle TP 170 a vychází ze 4 základních parametrů: návrhové úrovně porušení, dopravního zatížení, charakteristice podloží a klimatických vlivů. Hlavní parametr, který musí výsledné vozovkové souvrství vykazovat, je požadovaná únosnost jednotlivých vrstev. Bohužel nikde není zohledněno, jaké kamenivo je do zadaných klimatických podmínek vhodné a zda bude smáčivé a nebude mít sklon k obnažování. Pokud je na směsi stanovena přilnavost dle ČSN 73 6161, popř. ČSN EN 12697-11, s výsledkem lepším než vyhovující, je směs použita, i když to z dlouhodobého hlediska může být neekonomické. Kamenivo se rychle obnaží, vozovka začne vykazovat četné poruchy a její oprava je nutná ještě před dosažením konce životnosti konstrukce. Proto by bylo vhodné zvážit, zda do posuzované konstrukce nepoužít kamenivo s lepší smáčivostí a lepší odolností proti obnažení za cenu vyšších nákladů spojených s dopravou na stavbu.

Za zmínku stojí studie z roku 2015, která se zabývala vlivem mineralogického složení kameniva na odolnost vůči vodě. Testovány byly čtyři typy kameniva: dva vápence

(L1 a L2) a dvě žuly (G1 s G2) z různých lomů, o nichž bylo známo, že se při kontaktu s vodou chování odlišně. Pojiva byla použita dvě: 40/60 a 70/100. [36]

Kamenivo bylo nejprve podrobeno mineralogické analýze pomocí elektronového mikroskopu, který postupně zaznamenával odražené rozptýlené elektrony a energii rozptýlených rentgenových paprsků, ze kterých se pak vytvořil kompletní obraz mineralogického složení kameniva (viz obrázek 29). [36]



Obrázek 29 - Mineralogické složení kameniva [36]

Ze získaných snímků je patrné, že vápence jsou složeny hlavně z kalcitu a ostatní minerály se vyskytují pouze ve velmi malém množství. Oproti tomu žuly disponují velkým množstvím různých minerálů, hlavně chloritem, živcem albitem, křemenem, epidotem a anortitem. Předpokládá se, že právě albit a křemen jsou zodpovědní za porušení adheze. [36]

Rovněž bylo kamenivo testováno, jak rychle a jaké množství vody dokáže vstřebat. Test spočíval v úpravě kameniva na daný rozměr, úplného vysušení a temperování do ustálení hmotnosti. Ze tří měření byla vypočítána hodnota absorpce vlhkosti kameniva. Nejlepšího výsledku dosáhla žula G1, která vstřebala pouze 0,13 % vody, nejhoršího výsledku dosáhl vápenec L1 s hodnotou 2,25 %, což mohlo být způsobeno obsahem jílu. [36]

Celková odolnost směsí byla stanovena pomocí tří typů tahových zkoušek (Peel test, Pull test a PATTI)⁴. Rozdíl mezi nimi je v rozměrech vzorků a v rychlosti zatěžování. Ukázalo se, že pro vyhodnocení vodní citlivosti vzorků je nejlepší použít výsledky z Pull testu. Výsledné hodnoty prokázaly, že vodní citlivost systému kamenivo-pojivo je silně závislá na klíčových minerálech, jako jsou kalit, jíl a anortit. Zatímco jíl a anortit vykazují negativní vliv na přilnavost, kalcit naopak adhezi zlepšuje. Tím byl seznam nepříznivých minerálů jako je albit, křemen a draselný živec rozšířen i o jíl a anortit. [36]

3.6. VLIV FILERŮ NA PŘILNAVOST

V asfaltové směsi můžeme rozlišit tzv. aktivní a pasivní přilnavost v souvislosti s odolností vůči působení vody. Aktivní přilnavost je schopnost kameniva odpuzovat vodu ze svého povrchu a naopak navázat spojení s pojivem. Pasivní přilnavost je schopnost pojiva, které pokrývá kamenivo, udržovat adhezi mezi ním a kamenivem při styku směsi s vodou. Pro zlepšení pasivní přilnavosti je vhodné přidat do směsi filer. [37]

Studie, která potvrdila pozitivní vliv filerů na přilnavost, byla provedena ve Španělsku v roce 2015. Testování proběhlo na čtyřech druzích kameniva s pěti druhy filerů. Jednalo se konkrétně o horniny: kontaktní rohovec⁵, živičnou břidlici, gabro a dolomitický vápenec a o filery z uvedených hornin, uvedených hornin kombinovaných s 1% hydratovaného vápna, komerčního vápence, šedého portlandského cementu a popílku. Jako pojivo byl použit silniční asfalt 50/70. [38]

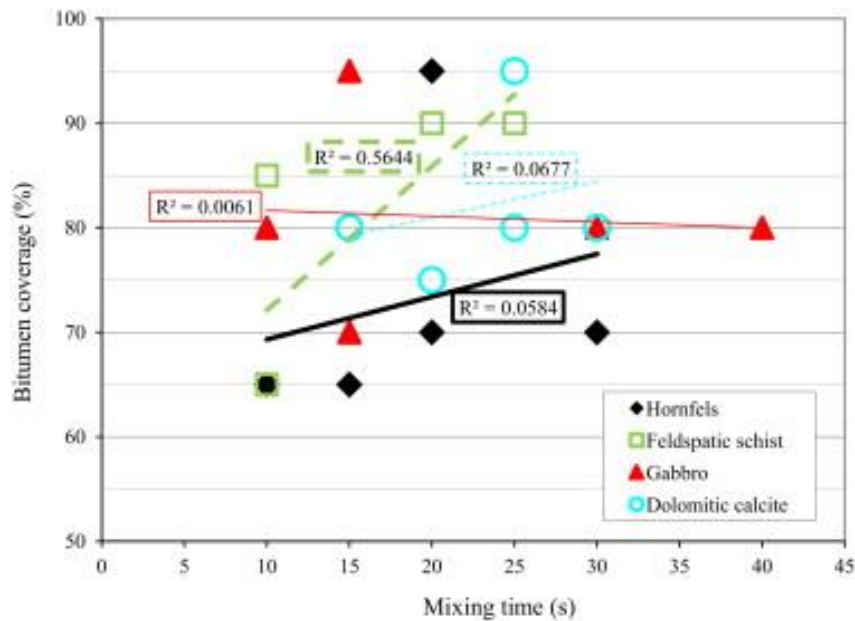
Při mísení směsí se ukázalo, že komerční filery (vápenec, cement a popílek) jsou jemnější a rovnoměrněji a lépe se distribuují do celé směsi oproti přírodním filerům. Pomocí zkoušky vroucí vodou byl vyhodnocen vliv filerů na aktivní přilnavost a pomocí měření času mísení vyhodnocen vliv na pasivní přilnavost systému kamenivo-pojivo. [38]

⁴ Peel test = Odlupovací test (zkouška)

Pull test = Tahový test, Odtrhávácí zkouška

Pneumatic Adhesion Tensile Testing Instrument = pneumatický tahový test (tahová zkouška)

⁵ Metamorfovaná hornina tvořená hlavně křemenem, živcem, slídou a amfibolem. [44]



Obrázek 30 - Závislost procentuálního obalení kameniva na době mísení testovaných kameniv [38]

Z výsledného grafu závislosti procentuálního obalení kameniva na čase mísení (obrázek 30) překvapivě vyplynulo, že neexistuje žádný vztah mezi aktivní a pasivní přilnavostí. Při výběru fileru je tedy nutné vybrat takový, který zlepšuje aktivní a pasivní přilnavost a zároveň negativně neovlivňuje jednu z nich. [38]

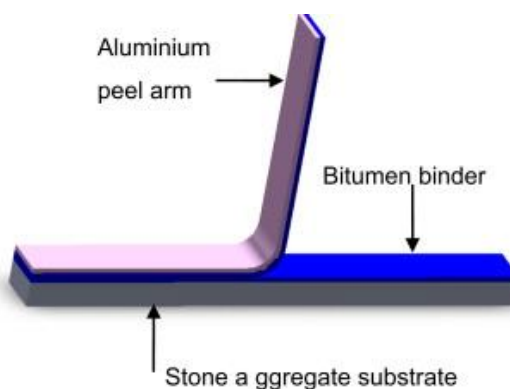
Nejlepší zlepšení přilnavosti (hlavně pasivní) došlo ve směsích při přítomnosti portlandského cementu, čímž se zlepšila i celková odolnost směsi. Po potvrzení výsledků z této studie by ale bylo vhodné, doplnit měření na dalších vzorcích s dalšími typy filerů o různých zrnitostech. [38]

3.7. VLIV PŘILNAVOSTNÍCH PŘÍRAD NA PŘILNAVOST

Pomocí Peel testu, byla v 2014 podrobena testování asfaltová směs vylepšená přilnavostními přísadami. Adheze byla kvantifikována pomocí tzv. lomové energie, kterou je nutné vyvinout k porušení směsi. Zároveň bylo zohledněno působení vody a pórovitost kameniva. Pro porovnání výsledků se testování uskutečnilo nejprve na směsích bez přísad a poté na směsích s přísadami. Byly použity čtyři typy hornin – vápenec, mramor a dvě žuly. Vápenec se vyznačuje dobrou odolností vůči působení vody a byl použit hlavně pro kontrolu výsledků. Mramor je velmi podobný vápenci, ale má menší pórovitost. Naopak žuly disponují špatnou odolností proti působení vody, neboť jsou tvořeny hlavně křemenem a draselným živcem. Pojivo bylo použito pouze jedno, a to silniční asfalt 40/60. Přilnavostní přísady byly použity celkem čtyři, které patřily do skupin silanů, aminů a polymerů. Silany byly použity dva – TMOS a ATP-MOS, dále byl použit jeden amin – ABAA a jeden polymer – SBS. Amin a polymer

byly přidány do horkého pojiva ještě před vytvořením testovacího vzorku. Do každého vzorku bylo přidáno 0,5 % hm. přísady. [39]

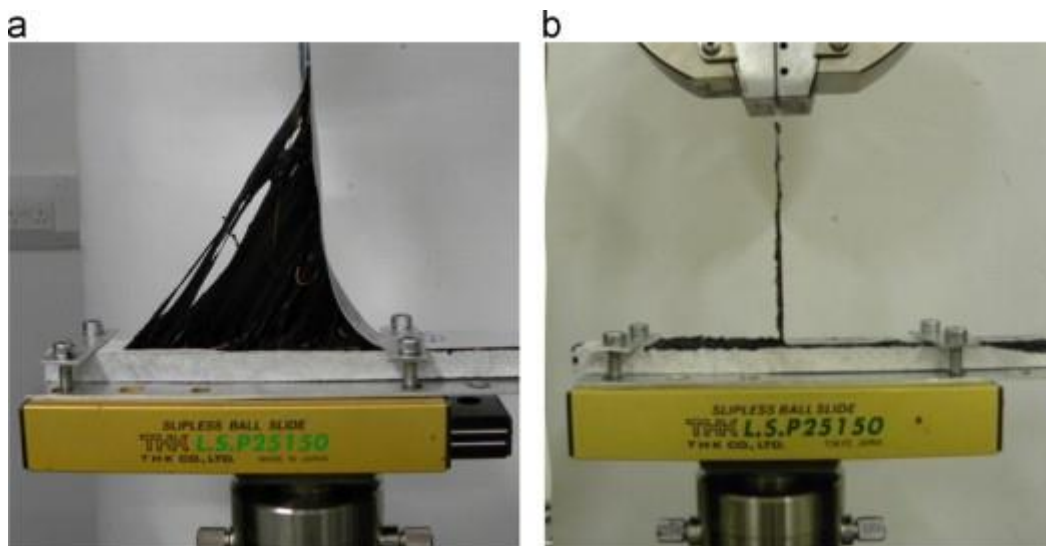
Princip testu spočívá v tom, že ze vzorku je konstantní rychlostí strhávána 0,2 mm silná hliníková vrstva. Díky dobré přilnavosti mezi pojivem a hliníkem dojde k porušení adheze mezi kamenivem a pojivem, případně v pojivu. Pro zkoumání vlivu vody na systém kamenivo-pojivo byl vzorek ponořen na 10 dní do destilované vody o teplotě 10 °C. Výsledkem testu byl graf závislosti lomové síly (odtrhovací síly) na posunu vzorku. Ze získaných hodnot byla dopočítána lomová energie. [39]



Obrázek 31 - Schéma vrstev Peel testu [39]

Výsledky ukázaly, že mramor díky své nižší pórovitost absorbuje méně vody než vápenec, avšak vápenec měl stejnou nasákavost jako jedna z žul, tudíž se potvrdilo, že vodní citlivost kameniva je závislá více na jeho chemickém složení, než na pórovitosti.[39]

Všechny přidání přilnavostní přísady prokázaly zvýšení odolnosti asfaltové směsi vůči působící vodě. Nejlepších výsledků dosáhla směs žuly, pojiva a silanů. Další kladnou vlastností silanů bylo zjištění, že dokáží významně zlepšit přilnavost mezi organickým pojivem a anorganickým kamenivem, zvláště pokud je kamenivo tvořeno křemenem. Přilnavostní přísady založené na bázi aminů prokázaly zvýšení odolnosti vůči vodě u všech testovaných směsí (kamenivo vápenec, mramor a žula 2). SBS směsový polymer byl přidán do pojiva, které pak bylo testováno společně s vápencem, ukázalo se, že polymer dokáže přibližně zdvojnásobit lomovou energii u suchého vzorku (viz obrázek 32) a zároveň zvyšuje odolnost celého systému proti negativnímu působení vody. [39]



Obrázek 32 - a) Vzorek s SBS přílnavostní přísadou; b) Vzorek bez přílnavostní přísady [7]

Pro účely této práce stojí zmínit studie z roku 2015, která se zabývala vlivem tekuté přílnavostní přísady Iterlene In/400-S a fileru v podobě vápenného hydrátu na odolnost směsi proti účinkům vody. Vzorky byly tvořeny pouze jedním typem kameniva – pískovcem, ke kterému byl přidán silniční asfalt 85/100, filer a přísada v různých koncentracích. Vzorky byly podrobeny zkoušce vroucí vodou a modifikovanému Lottmanově testu (ITS) a pomocí fotografické analýzy byla vyhodnocena přílnavost. Snímky, vyhodnocené pomocí programu MATLAB a AUTOCAD ukázaly, že procento pokrytí kameniva pojivem je nejlepší při přimíchání 2 % vápenného hydrátu do směsi. Tabulka výsledků je následující:

Mixture type	Coating amount after processing data using MATLAB (%)	Coating amount after processing data using AUTOCAD (%)
Without additive	91	93
0.2% Iterlene In/400-S	94	96
0.3% Iterlene In/400-S	96	97
0.4% Iterlene In/400-S	97	98
1% hydrated lime	95	96
1.5% hydrated lime	96	98
2% hydrated lime	99	99

Tabulka 4 - Porovnání přílnavostí pomocí počítačových programů s přísadami v různých koncentracích [40]

ITS bylo měřeno na sadě Marshallových těles. Polovina těles sady byla nasycena na 100 % a druhá polovina pouze na hodnotu 50 až 80 %. Získané hodnoty ITS prokázaly, že při působení vody, přílnavostní přísada zlepšuje přílnavost více, než vápenný hydrát. Nejvyšší hodnota byla naměřena ve směsi s 0,4 % hm. přísady Iterlene In/400-S. [40]

Poslední citovaná studie pochází ze Silniční laboratoře FSv ČVUT v Praze. Projekt se zabýval různými přílnavostními přísadami, přidanými do silničního asfaltu 50/70, který

byl posléze smíchán s různými druhy kameniva. Zkoumán byl i vliv stárnutí pojiva na adhezi mezi kamenivem a pojivem. [16]

Celkem bylo použito devět druhů kameniva, která se běžně využívají do asfaltových směsí. Konkrétně se jednalo o kameniva z kamenolomů Chlum, Brant, Kobylí Hora, Libodřice, Litice, Markovice, Měrunice, Zbečno a Zbraslav. Přílnavostní přísady byly použity čtyři – AdHere LOF 65-00 EU, Zycotherm, Impact 8000 a Wetfix BE. [16]

Kamenivo	50/70 bez přísady			50/70 + 0,1% Zycotherm			50/70 + 0,3% Wetfix		
Markovice	B-C	85%	Vyhovující	B +	93%	Velmi dobrá	B-	87%	Vyhovující
Litice	B	90%	Velmi dobrá	B -C	85%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Libodřice	C	80%	Vyhovující	A-B	95%	Velmi dobrá	B	90%	Velmi dobrá
Chlum	D +	73%	Nevyhovující	C -	77%	Vyhovující	C	80%	Vyhovující
Kobylí Hora	E	50%	Nevyhovující	C	80%	Vyhovující	C	80%	Vyhovující
Měrunice	C -	77%	Vyhovující	B +	93%	Velmi dobrá	B-C	85%	Vyhovující
Zbraslav	D	70%	Nevyhovující	C +	83%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Zbečno	C	80%	Vyhovující	B -C	85%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Brant	E	50%	Nevyhovující	C+	83%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující

Tabulka 5 - Vyhodnocení přílnavosti s referenčním pojivem a přísadou Zycotherm a Wetfix [16]

Zkouška přílnavosti dle ČSN 73 6161 ukázala, že s referenčním pojivem dosáhly nevyhovující přílnavosti čtyři druhy kameniva – Chlum, Kobylí Hora, Zbraslav a Brant, přičemž u Brantu a Kobylí Hory se obalilo pouze 50 % povrchu zrn kameniva. Přidáním přílnavostní přísady došlo u všech kameniv ke zlepšení přílnavosti a všechna kameniva vyhověla požadované úrovni přílnavosti pro použití do asfaltové směsi. Rozdíl mezi přísadami byl minimální, proto lze doporučit obě.

Kamenivo	50/70 + 0,3% Impact			50/70 + 0,6% Impact			Kamenivo	50/70 + 0,3% AdHere 65-00			50/70 + 0,6% AdHere		
	Markovice	B +	93%	Velmi dobrá	B-	87%		Vyhovující	Markovice	B	90%	Velmi dobrá	B-
Litice	B -C	85%	Vyhovující	B-	87%	Vyhovující	Litice	B-C	85%	Vyhovující	C-D	75%	Vyhovující
Libodřice	B +	93%	Velmi dobrá	C+	83%	Vyhovující	Libodřice	A -	97%	Výborná	C+	83%	Vyhovující
Chlum	C -	77%	Vyhovující	C	80%	Vyhovující	Chlum	C	80%	Vyhovující	A-B	95%	Velmi dobrá
Kobylí Hora	B-C	85%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující	Kobylí Hora	C	80%	Vyhovující	C-D	75%	Vyhovující
Měrunice	B	90%	Velmi dobrá	B	90%	Velmi dobrá	Měrunice	B -	87%	Vyhovující	A-B	95%	Velmi dobrá
Zbraslav	C +	83%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující	Zbraslav	B -	87%	Vyhovující	C +	83%	Vyhovující
Zbečno	C	80%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující	Zbečno	C +	83%	Vyhovující	B-C	85%	Vyhovující
Brant	C+	83%	Vyhovující				Brant	C	80%	Vyhovující			

Tabulka 6 - Vyhodnocení přílnavosti s přísadami Impact a AdHere [16]

Přísady Impact a AdHere byly do pojiva přidány ve dvou koncentracích: 0,3 % a 0,6 %. Nebyla potvrzena hypotéza, že by zvýšená koncentrace přísady zvyšovala adhezi. [16]

Překvapivých závěrů bylo docíleno u zkoumání vlivu zestárlého pojiva, včetně zestárlé přísady, protože zestárlé pojivo zlepšilo u referenčních vzorků přílnavost v průměru o 10 %. Jediné kamenivo, které nebylo dostatečně obaleno, bylo Brant. V menší míře

přilnavost ovlivnily i zestárlé přísady, nejlépe Wetfix BE. Prokázalo se, že přilnavost po stárnutí je ovlivněna hlavně typem kameniva. [16]

3.8. VLV VODY NA PŘILNAVOST

Obnažení kameniva vlivem působení vody (vlhkosti) patří k nejčastějšímu selhání přilnavosti mezi pojivem a kamenivem. Až doposud bylo poškození vodou posuzováno hlavně z hlediska termodynamické teorie, avšak v posledních letech se výzkumy zaměřují na efekt překrývajících se dvojitých elektrických vrstev při přítomnosti vody. Bohužel poškození vodou nelze popsat pouze z jednoho hlediska, ale vždy je nutné zvážit více faktorů dohromady. Například pokud voda způsobí oxidativní stárnutí pojiva, zvýší tím jeho polaritu a tím pádem lépe přilne k polárnímu kamenivu, ale také se pojivo stane hydrofilnějším a bude mít tendenci přitahovat více vody. Z tohoto důvodu se mnoho studií zaměřovalo na zkoumání právě pH vody. [35]

Hodnota pH povrchové vody závisí na mnoha faktorech - geologii, topografii, klimatu a ročním období, vegetaci, lidské činnosti apod. Jelikož je povrchová voda produktem podzemní vody, je vhodné se domnívat, že podobné pH bude mít jak povrchová, tak podzemní voda, která se nachází v blízkosti silniční konstrukce (podloží). Ovšem na změnu pH vody může mít vliv i mineralogické složení kameniva. Studie prokázaly, že při styku vody s kamenivem se hodnota pH vody většinou pohybuje v rozmezí od 9 do 10. K zjištění změn složek povrchové energie vody byly doposud použité dvě metody - inverzní plynová chromatografie⁶ a měření kontaktního úhlu. [35]

Použitými metodami bylo zjištěno, že z praktického hlediska, není nutné brát v potaz vliv pH vody na povrchovou energii vody. Bylo zjištěno, že při styku vody s kamenivem se sice mění pH vody, a tudíž i složky povrchové energie vody, ale tuto změnu není nutné zohlednit při výpočtu celkové adheze. Co by však bylo nutné do výpočtu zohlednit, je obsah rozpuštěné soli ve vodě, neboť významně ovlivňuje povrchové napětí vody. [35]

Další posuzovanou vlastností, která má vliv na adhezi a mohla by být ovlivněna přítomností vody, je elektrická dvojrstva. Jak už bylo uvedeno dříve, v přítomnosti vody dochází k nabytí povrchu kameniva v důsledku absorpce iontů, který začne přitahovat opačně nabitě částice. Dojde k zformování elektrických dvojrstev na povrchu obou materiálů a po jejich překrytí mezi nimi působí přitažlivé, nebo odpudivé síly. [35]

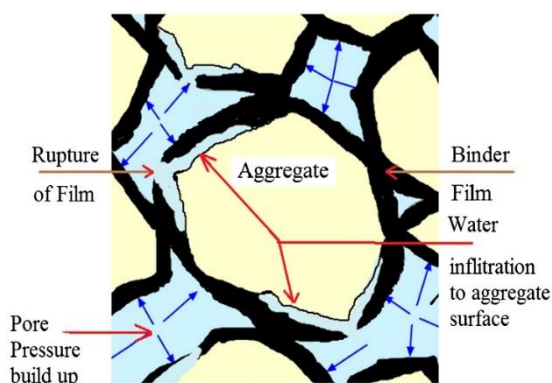
⁶ Slouží k analýze povrchových charakteristik kapalin.

V rámci jednoho výzkumu byly vybraná pojiva a kameniva podrobena sérii elektroforéz a data byla doplněna výsledky elektroforéz z SHRP programu⁷. Veškerá data byla použita k výpočtu volné energie elektrostatické interakce, která vzniká mezi pojivem a kamenivem. Dále bylo kamenivo v rámci zkoušky na vodní citlivost klasifikováno dle náchylnosti k obnažení jako: obnažené, středně obnažené a neobnažené, přičemž data z elektroforéz tuto klasifikaci potvrdila. Z výsledků bylo zjištěno, že vliv volné energie elektrostatické interakce na celkovou adhezi, je v porovnání s Gibbsonovou volnou energií adheze zanedbatelný. Výzkum poukázal na fakt, že pravděpodobně existuje jiný mechanismus na rozhraní materiálů, který má významnější vliv na přilnavost mezi kamenivem a pojivem, než překrytí elektrických dvojvrstev. [35]

V rámci předchozí studie byly taktéž provedeny testy na zjištění souvislosti mezi pH vody a schopností materiálů přijmout/darovat elektron. Experiment prokázal, že existuje souvislost mezi donor-akceptorovými vlastnostmi povrchů a povrchovými náboji materiálů a také, že existuje vztah mezi škálou pH a škálou donority⁸ u posuzovaných materiálů. Ačkoliv byly zkoumány pouze 4 druhy kameniv, ukázalo se, že kameniva, která vykazují nízkou donoritu způsobují, že asfaltová směs je citlivější na vlhkost. Pro širší využití získaných poznatků by bylo zapotřebí dalších testů, které by pomohly kvantifikovat adhezi v přítomnosti vody při očekávaném pH vody v terénu. [35]

3.9. ZTRÁTA PŘILNAVOSTI VLIVEM VODY

V této kapitole jsou popsány jednotlivé mechanismy obnažování kameniva, které bylo zmiňováno v předchozích kapitolách. Řadí se k nim odloučení, přemístění, spontánní emulgace, porušení pórovým tlakem a hydraulické vymletí. [34]



Obrázek 33 - Porušení asfaltového filmu vlivem vody [53]

⁷ Strategic Highway Research Program - Výzkum zabývající se největšími a nejdražšími problémy, které vznikají na dálnicích. [54]

⁸ Schopnost prvku darovat elektron. Pojmenování bylo pro zjednodušení odvozeno od slova donor.

3.9.1. ODLOUČENÍ

V tomto případě dojde k úplnému odloučení asfaltového filmu od kameniva, aniž by se film porušil. Mechanismus vychází z teorie povrchových sil, která říká, že termodynamický stabilní systém upřednostňuje rovnovážný stav s nejnižší povrchovou energií, tudíž pokud se do směsi dostane voda, dojde k uvolnění energie mezi kamenivem a pojivem a k celkové ztrátě adheze. Odloučení lze eliminovat použitím suchého kameniva a méně propustného asfaltového pojiva. [34]

3.9.2. PŘEMÍSTĚNÍ

Pokud je asfaltový film porušen, voda může tímto místem pronikat na rozhraní pojiva a kameniva a úplně vytlačit asfalt pryč. Čím více se voda dostává k povrchu kameniva, tím více se působící povrchové síly chtějí vyrovnat a tím je rychlost obnažování kameniva rychlejší. Princip je velmi podobný jako v případě odloučení z hlediska zachování nejnižší povrchové energie. Aby se předešlo vzniku prasklin v asfaltovém filmu, je potřeba dodržovat technologickou kázeň při míchání pojiva, minimalizovat množství prachových částic v pojivu a nepoužívat kamenivo s velmi ostrými hranami. Pro obalení kameniva je vhodné zajistit, aby byla kontrolována kvalita obou materiálů a dostatečné množství pojiva. Eliminaci prachových částic lze zajistit dostatečným propláchnutím kameniva. [34]

3.9.3. SPONTÁNNÍ EMULGACE

Ve většině případů, nemá přítomnost vody při míchání asfaltu žádný vliv. Někdy však může dojít ke vzniku tzv. obrácené emulze, kde jsou kapičky vody volně rozptýlené v asfaltu. Jakmile dojde k aplikaci takového pojiva na povrch kameniva, voda se okamžitě začne spojovat s kamenivem a tím pojivo vytlačovat. Naštěstí je tento mechanismus vratný a jakmile se voda z pojiva vypaří, pojivo opět přilne ke kamenivu. [34]

Základní chemické vlastnosti asfaltu se odvíjejí od způsobu zpracování surové ropy. Při rafinaci ropy je tedy vhodné zvážit potenciální riziko náchylnosti asfaltu k spontánní emulgaci, některé z nich totiž vedou ke vzniku emulgačních činidel v asfaltu. Dva ze způsobů zpracování ropy používají žíraviny k neutralizaci kyselých surových olejů a k odsolení surové ropy. Problémem je, že buď nedojde k úplnému odsolení ropy, nebo nelze ropu zbavit soli po přidání žíraviny, tudíž sůl je obsažena i ve finálním asfaltu. Sůl v asfaltu působí jako emulzní činidlo a při kontaktu směsi s vodou dojde k spontánní emulgaci pojiva. [34]

3.9.4. PORUŠENÍ PÓROVÝM TLAKEM

K tomuto typu porušení dochází především u tradičních asfaltových směsí prováděných za horka důsledkem snížení množství vzduchových pórů vlivem dopravního zatížení. Voda, která je obsažena ve vzduchových pórech je vlivem zatížení stlačována a vyvíjí tlak na asfaltový film. Po opakovaném stlačování může pórový tlak dosáhnout hodnoty, při které dojde k porušení asfaltového filmu, čímž se voda dostane ke kamenivu a může způsobit odloučení asfaltu. [34]

Nejčastěji k tomuto jevu dochází u nových vozovek, které jsou nedostatečně zhutněny a obsahují cca 7 až 8 % vzduchových pórů. Předpokládá se, že vlivem dopravního zatížení se množství pórů zredukuje přibližně na 4 %. Na začátku životnosti vozovky, jsou póry dostatečně velké na to, aby mohly být vzájemně propojeny a voda v nich volně kolovala. Vlivem zatížení se snižuje tloušťka konstrukce a voda zůstává v pórech uvězněná. Zvyšujícím se zatížením a teplotou ve vozovce se zvyšuje i hodnota pórového tlaku. [34]

Správnou predikci zatížení a důsledným zhutnění konstrukce, lze porušení pórovým tlakem značně zredukovat. [34]

3.9.5. HYDRAULICKÉ VYMLETÍ

Porušení díky hydraulickému vymletí nastává pouze ve vrchních částech vozovky. Princip spočívá v tom, že pojížděním kola po mokré vozovce dochází k zatlačování vody do konstrukce a odtížením je voda sána zpět na povrch vozovky. Tento cyklus se zopakuje i několik tisíckrát denně. Výsledkem kumulace cyklů je postupná ztráta adheze mezi pojivem a kamenivem. [34]

4. POPIS PROVEDENÝCH ZKOUŠEK

Ze vstupních materiálů byly vytvořeny tři testovací skupiny – první skupina byla tvořena pouze kamenivem s asfaltovým pojivem, druhá kamenivem, asfaltovým pojivem a přílnavostní přísadou a poslední kamenivem, asfaltovým pojivem a přídatným filerem. Na první a druhé skupině byla testována pouze přílnavost dle normy pro stanovení přílnavosti. Z poslední třetí skupiny s filerem byla navíc vytvořena Marshallova tělesa, na kterých byla stanovena hodnota pevnosti v příčném tahu a ztráta stability a tuhosti vlivem vody. Všechny provedené zkoušky byly zaměřené na zkoumání vlivu vystavení vodnímu (vlhkému) prostředí. Postupy zkoušek jsou uvedeny v následujících odstavcích.

4.1. PŘÍPRAVA MARSHALLOVÝCH TĚLES

Ve všech zkouškách, ve kterých se pracovalo s Marshallovými tělesy, byla tělesa vytvořena pouze z variant s přidaným filerem. Postup přípravy těles vycházel z normy ČSN EN 1744-4 Přílohy A, zhutnění těles z normy ČSN EN 12697-30. V závislosti na požadavcích konkrétních charakteristik se použily odlišné hutnící energie. [41]

Z hrubého kameniva bylo odstraněno nadsítné a podsítné a promylo se pro odstranění jemných částic. Kamenivo se dále protřídilo na frakce 0,125/0,25; 0,25/0,71 a 0,71/2,0. Výsledná směs je složena z následujících frakcí v poměru: [41]

Hrubé	5/8	25%
	2/5	25%
Drobné	0,71/2,00	25%
	0,25/0,71	11%
	0,125/0,25	4%
Filer	0/0,125	10%

Množství asfaltu se stanoví tak, aby spolu s předepsaným poměrem frakcí kameniva obsahovala směs $(5,5 \pm 0,5)$ % pórů v objemu vzorku. Kamenivo a asfalt se ohřejí v sušárně na teplotu 140 °C, po dosažení požadované teploty se ke kamenivu přidá pojivo, směs se promíchá a rozdělí na potřebný počet částí. Oddělené směsi se opět vloží do sušárny a nechají se po dobu 1 hodiny ohřát znovu na teplotu 140 °C. [41]

Po dosažení požadované teploty se směsi přemístí do předepsaných ocelových forem pro hutnění. Poté se těleso zhutní v rázovém zhutňovači hutnícím beranem pěchu, který dopadá z výšky (460 ± 3) mm. Tělesa byla zhutněna 2×25 údery, nebo 2×50 údery. [41]

Výsledné rozměry tělesa by měly být $(101,6 \pm 0,1)$ mm v průměru a $(63,5 \pm 2,5)$ mm na výšku. [41]

4.2. STANOVENÍ PŘILNAVOSTI MEZI ASFALTOVÝM POJIVEM A KAMENIVEM

Pro určení přilnavosti mezi kamenivem a asfaltovým pojivem se postupovalo dle platné normy ČSN 73 6161 – Stanovení přilnavosti mezi asfaltovým pojivem. Norma definuje postup jak při použití suchého kameniva, tak při použití vlhkého kameniva. V našem případě se pracovalo pouze se suchým kamenivem. V normě je dále uvedeno, že pro zkoušku je stěžejní použít kamenivo frakce 8/16, avšak v evropské normě ČSN EN 12697-11, která se zabývá stejnou problematikou je uvedena frakce 8/11 jako ta nejdůležitější, proto byla právě frakce 8/11 použita v této zkoušce. Pojivo bylo dle české a evropské normy přidáno ve dvou podílech: 3,85 % (12 g) a 3,00 % (9,5 g), aby bylo možné porovnat vliv dávkování na výsledné obalení kameniva. [42] [43]

4.2.1. POSTUP ZKOUŠKY

V přípravné fázi se nejprve vybrané kamenivo frakce 8/11 zbavilo podsítného a nadsítného a bylo očištěno pod tekoucí vodou, následně bylo uloženo do sušárny, aby při teplotě $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ dosáhlo úplného vysušení (ustálila se jeho hmotnost). Po dosažení ustálení hmotnosti se kamenivo naváží (300 ± 3) g do normou definované porcelánové misky a umístí se do vyhřáté sušárny. Do druhé sušárny se umístí kovová vyhřívací nádoba s asfaltovým pojivem. Teplota v obou sušárnách závisí na druhu použitého asfaltového pojiva, ale obecně lze říci, že teplota kameniva musí být vždy přibližně o $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ nižší než teplota pojiva. [42]

Po dosažení správné teploty (nutné zkontrolovat teploměrem) se do vyhřátého kameniva naváží předepsané množství asfaltového pojiva a ihned se promíchá předem ohřátou špachtlí, až do obalení všech zrn kameniva. Přibližně po 4 - 10 minutách mísení, získá směs lepivou konzistenci, přemístí se do skleněné misky a rovnoměrně se rozloží špachtlí po dnu nádoby. Pokud by nedošlo k úplnému obalení kameniva, je potřeba celou zkoušku opakovat s novým vzorkem kameniva. Kdyby se ani podruhé nepovedlo určené kamenivo obalit, zkouška je ukončena s verdiktem, že kamenivo není možné obalit. [42]



Obrázek 34 - Připravené směsi před aplikací obnažovací vody

Obalené kamenivo se nechá nezakryté po dobu 24 hodin při laboratorní teplotě. Po té se do směsi opatrně nalije tzv. obnažovací voda (destilovaná voda ohřátá na teplotu $60 \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C}$). Hladina vody by měla dosahovat výšky nejméně 10 mm nad pomyslnou výškou kameniva. Miska se směsí a vodou se zakryje krycím sklem a nechá se temperovat po dobu 60 minut stáním na stinném místě na vzduchu při laboratorní teplotě. [42]



Obrázek 35 - Směs zalitá obnažovací vodou

4.2.2. VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY








V současné době již máme k dispozici dvě alternativy, jak vyhodnotit míru porušení asfaltového povlaku na kamenivu, a to buď vizuálně, nebo pomocí počítačového softwaru, přičemž první zmíněná varianta je stále ta nejpoužívanější, resp., dle normy je jediná přípustná. [42]

□ VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ (KONVENČNÍ METODA)

Obalené kamenivo je stále ponecháno ve vodní lázni a pomocí světla lampy a případně lupy je hodnoceno procentuální obalení ploch jednotlivých zrn. Aby bylo dosaženo použitelného výsledku je potřeba provést minimálně dvě souběžná nezávislá vyhodnocení, ze kterých se udělá aritmetický průměr.

Pokud se však hodnocení liší o více jak 10 %, je třeba zkoušku opakovat s novým vzorkem. [42]

Pro usnadnění hodnocení se používá tabulka 7.

Obalená plocha v %	Asfaltem obalené zrno kameniva	Charakteristika asfaltového spojení filmu se zrnem kameniva	Poznámka
100		A	Celé zrno obaleno, hrany a rohy mohou být slabě potaženy průsvitným filmem
90		B	Zrno obaleno slabě, na zbylé ploše mohou být drobné obnažená místa (hrany, rohy, drobné plošky)
80		C	Obnažené hrany a rohy, zbylá plocha zrna obalena
70		D	Obnažené hrany a rohy, na ostatní ploše se ojediněle vyskytují malá neobalená místa
50		E	Obnažené hrany a rohy, na ostatní ploše se vyskytují neobalená místa, obalená plocha převládá
40		F	Neobalená plocha převládá, obalená plocha je tvořena ještě jednotlivými souvislými plochami
20		G	Nesouvislý obalený povrch tvořený jednotlivými kapkami asfaltu

Tabulka 7 - Stanovení obalení kameniva [42]

Výhodou toho hodnocení je především v jeho rychlosti, avšak velkou nevýhodou je to, že je velmi subjektivní a je k němu potřeba už určitá praxe. Pro člověka, který takové hodnocení provádí poprvé, je dobré, aby mu zpočátku asistoval někdo zkušenější a upozornil ho na důležitá fakta, kterých je potřeba si všimnout.

□ SEMI-AUTOMATICKÉ METODY

Jak už bylo uvedeno na začátku, existuje ještě druhý způsob, jak výslednou přilnavost vyhodnotit, a to pomocí počítačových programů, resp. digitální obrazové (snímkové) analýzy, která se ve světě rozvíjí posledních 5 až 8 let.


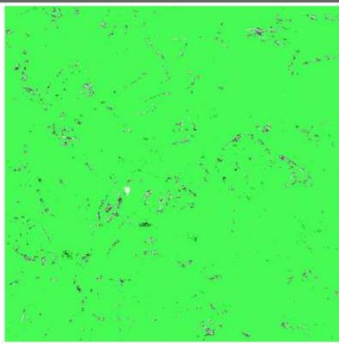
Obecný postup je takový, že připravená asfaltová směs je ponechána ve vodní lázni a následně kvalitně nafocena, či jiným způsobem digitálně nasnímána. Čím je výsledná fotografie kvalitnější, tím i výsledné hodnocení bude přesnější. Následně se fotografie převede do spektra šedé barvy a je podrobena obrazové analýze, v níž se hledají světlejší místa, než je zvolený limit. Předpokládá se, že právě světlá místa náležejí obnaženému kamenivu, zatímco tmavá místa náležejí pojivu. [44]

Při fotografování však často dochází k efektu, že hladká plocha pojiva odráží dopadající světlo a tím pádem je místo světlé a může docházet k záměně s obnaženým kamenivem. Pro vyřešení tohoto problému se musí přihlížet k drsnosti textur vyhodnocených pomocí lokální entropie, čímž se spolehlivě rozliší hladké pojivo od hrubého kameniva. Další problém, který může výrazně ovlivnit vyhodnocení je použití velmi tmavého kameniva. Po převedení barevného snímku na černobílý lze pak jen těžko rozlišit, co představuje kamenivo a co asfaltové pojivo. I když je použit transfer barevných spekter snímků do kontrastnějších barev, výsledky nejsou nijak valné.[44]



Obrázek 36 - Vhodná fotografie pro snímkovou analýzu [44]

Pro samotné vyhodnocení lze použít programy, které dokáží určit počet pixelů ve fotografii, asi nejznámějším programem je Adobe Photoshop. Práce s ním je však časově náročná a použití lokální entropie v něm bohužel není možná. K řešení naší problematiky byl proto použit software PyPAIS, který byl vyvinut na Fakultě stavební ČVUT v Praze – katedře mechaniky a který z podexponované fotografie dokáže velmi přesně vyhodnotit stupeň obalení kameniva pojivem.[44]

Name: 2 Chlum PL m		
		
Input photo.	Marked bitumen-coated areas.	
Assessment [%]: 97.2	Assessment: Excellent	Date: 12. 6. 2019

Obrázek 37 - Příklad vyhodnocení pomocí snímkové analýzy [59]

4.2.3. VÝSLEDEK ZKOUŠKY

Přilnavost lze vyhodnotit jako:

VÝBORNOU

Více než 75% zrn zkušebního vzorku vykazuje charakteristické spojení asfaltového pojiva s kamenivem a je hodnoceno za A. U zbývajících zrn nesmí být charakteristika nižší než B (procento obalené plochy větší než přibližně 97). [42]

DOBROU

Více než 75% zrn zkušebního vzorku vykazuje charakteristické spojení asfaltového pojiva s kamenivem a je hodnoceno za B, popř. lepší. U zbývajících zrn nesmí být charakteristika nižší než C (procento obalené plochy větší než přibližně 90). [42]

VYHOVUJÍCÍ

Více než 75% zrn zkušebního vzorku vykazuje charakteristické spojení asfaltového pojiva s kamenivem a je hodnoceno za C nebo lepší. U zbývajících zrn nesmí být charakteristika nižší než D (procento obalené plochy větší než přibližně 80). [42]

NEVYHOVUJÍCÍ

Méně než 75% zrn zkušebního vzorku je hodnoceno za C. Při tomto výsledku je vhodné uvažovat (resp. je z hlediska kvality asfaltové směsi v zásadě nezbytné využít) o možnosti zlepšení přilnavosti přidáním přilnavostní přísady. [42]

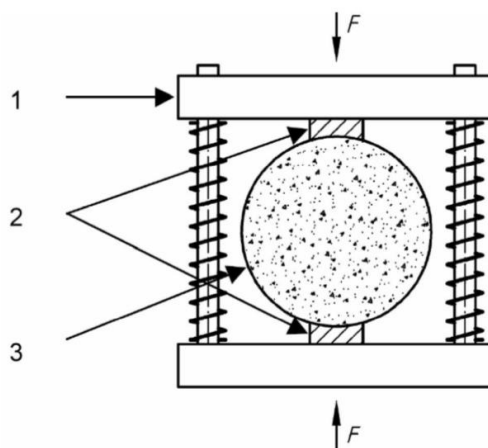
4.3. STANOVENÍ PEVNOSTI V PŘÍČNÉM TAHU

Pro stanovení pevnosti v příčném tahu se postupovalo dle normy ČSN EN 12697-23. Zkouška spočívá v zatížení zkušebního vzorku ve tvaru válce podél středové osy zatěžovacími pásy lisu až do okamžiku porušení. [45]

4.3.1. POSTUP ZKOUŠKY

Z připravené asfaltové směsi se nejprve zhotoví zkušební Marshallova tělesa, která se následně umístí do klimatizační komory, kde se nechají temperovat po dobu nejméně 4h. Po vyjmutí tělesa z komory by mělo mít těleso teplotu přibližně 15 °C. Zkušební tělesa se umístí do tlačných čelistí lisu tak, aby mohl být zatěžován jeho průměr. Zatěžování je konstantní, rychlostí (50 ± 2) mm/min až do dosažení maximálního zatížení. Maximální zatížení se zaznamená a pokračuje se v zatěžování, dokud se těleso neporuší. Poté se těleso vyjme a jeho povrch se prohlédne. Veškeré poruchy se zaznamenají. [45]

V případě, že tělesa byla satureována ve vodě a byla temperována po dobu 72h ve vodní lázni, a to v souladu s normou ČSN 12697-12 pro stanovení odolnosti asfaltové směsi proti účinkům vody, je postup výše proveden v klimatizační komoře s umístěním těles do vodní kázně. [45]



Obrázek 38 - Schéma zatěžování tělesa; 1-Tlačná čelist, 2-Zatěžovací pásy, 3-Zkušební těleso [45]

Typ porušení tělesa lze klasifikovat jako:

ROVNÁ PODÉLNÁ PRASKLINA

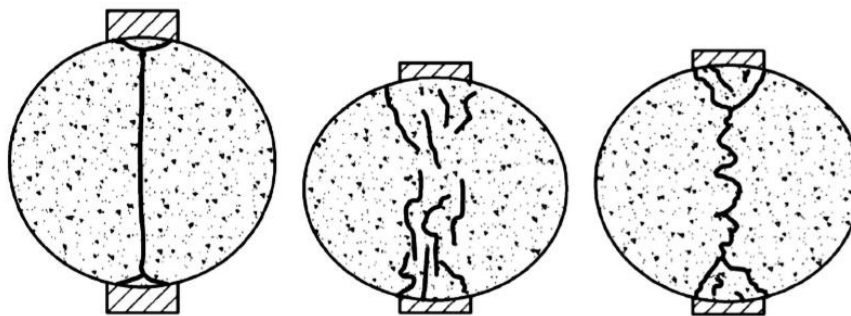
Těleso je porušené podél osy průměru. V oblastech blízko zatěžovacích pásů se můžou nacházet trojúhelníkové praskliny. [45]

DEFORMACE

Těleso je bez viditelné podélné praskliny [45]

KOMBINACE

Na tělese je detekovatelná menší rovná prasklina. Oblasti blízko zatěžovacích pásů disponují poruchami většího rozsahu. [45]



Obrázek 39 - Typy porušení (zleva): rovná podélná prasklina, deformace, kombinace

Celou zkoušku je třeba dokončit do 2 minut poté, co se tělesa vyjmou z temperovací komory. Pro stanovení pevnosti je potřeba zatěžování provést na nejméně třech zkušebních tělesech stejné asfaltové směsi. Před samotnou zkouškou se změří rozměry těles a vypočítají se objemové hmotnosti. [45]

4.3.2. VÝPOČET PEVNOSTI

Pevnost v příčném tahu se vypočítá ze vzorce: [45]

$$ITS = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot H} \quad [\text{MPa}]$$

P	maximální zatížení; [kN]
D	průměr zkušebního tělesa; [mm]
H	výška zkušebního tělesa; [mm]

4.3.3. VYHODNOCENÍ

Vypočítané hodnoty pevnosti jsou platné, pokud se rozdíl pevností jednotlivých zkušebních těles neliší o více než 17 % od průměrné hodnoty. Pokud by se výsledky lišily, provede se zatěžování ještě dalších dvou těles, vypočítá se směrodatná odchylka a vyloučí se extrémní hodnoty, které způsobují, že je odchylka větší než 10% průměrné hodnoty všech výsledků. [45]

4.4. STANOVENÍ ODOLNOSTI VŮČI VODĚ

Jak už bylo zmíněno v předchozí kapitole, pro stanovení odolnosti zkušebních těles proti účinkům vody se postupovalo dle normy ČSN EN 12697-12: Část 12. Principem je porovnání hodnot pevností v příčném tahu zkušebních těles nasycených vodou s tělesy suchými, která nebyla ve vodě uložena. Norma zahrnuje tři metody, zde bude popsána pouze metoda A, dle níž se postupovalo. [46]

4.4.1. POSTUP ZKOUŠKY

Z připravené asfaltové směsi se vytvoří sada šesti zkušebních Marshallových těles. Dle normy by sada měla obsahovat osm těles, ale vzhledem k tomu, že jsou tělesa dále využita pro jiné experimenty, se na Fakultě stavební ČVUT v Praze volí sady s počty těles jako násobky tří. V případě dále popsaných výsledků, se polovina sady umístila do vakuové komory (exsikátoru) naplněné destilovanou vodou o teplotě $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$, kde se předepsaným postupem při podtlaku sytila po dobu 30 minut vodou. Druhá polovina sady se nechala temperovat na rovném povrchu při laboratorní teplotě $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. [46]

Ve vakuové komoře se během (10 ± 1) min vytvoří absolutní tlak $(6,7 \pm 0,3)$ kPa, který se postupně snižuje. Požadovaný tlak se v komoře udržuje po dobu (30 ± 5) min. Poté se tlak postupně vyrovná na hodnotu atmosférického tlaku a tělesa se nechají temperovat po dobu dalších (30 ± 5) min. Skupina těles se vyjme a vloží se do jiné vodní lázně o teplotě $(40 \pm 1) ^\circ\text{C}$, kde se nechají temperovat po dobu 68 h až 72 h. Po kompletní temperaci jsou mokrá i suchá tělesa podrobena zkoušce na pevnost v příčném tlaku dle ČSN EN 12697-23. Před samotnou zkouškou se změří rozměry těles a vypočítají se objemové hmotnosti. [46]

4.4.2. VÝPOČET PEVNOSTI

Poměr pevností v příčném tahu se vypočítá ze vzorce: [46]

$$\text{ITSR} = 100 \times \frac{\text{ITS}_w}{\text{ITS}_d} \quad [\%]$$

ITS_w průměrná pevnost v příčném tahu mokrých těles; [kPa]

ITS_d průměrná pevnost v příčném tahu suchých těles; [kPa]

4.4.3. VYHODNOCENÍ

Shodnost této zkoušky není dosud stanovena. [46]

4.5. STANOVENÍ ZVĚTŠENÍ OBJEMU A ZTRÁTY STABILITY MARSHALLOVA ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

Pro stanovení vlivu různého typu použitého fileru na asfaltovou směs se postupovalo dle méně známé zkoušky, která se provádí na Marshallových zkušebních tělesech dle normy ČSN EN 1744-4, Přílohy A. Tato příloha popisuje v České republice

nepoužívanou metodu, která vymezuje jednoduchý postup pro stanovení objemových změn a ztráty stability zhutněných zkušebních těles s využitím Marshallovy zkoušky, která je zároveň ukazatelem vlivu filerů na trvanlivost asfaltové směsi v přítomnosti vody. Níže uvedený postup byl po dohodě s vedoucím diplomové práce pro potřeby jejího zpracování rozšířen i o provedení klasické odolnosti proti účinkům vody podle postupu, který byl uveden výše (tedy stanovení klasického ukazatele ITSr). [41]

4.5.1. POSTUP ZKOUŠKY

Připraví se asfaltová směs sestávající z vhodného kameniva (s maximální velikostí zrna do 8 mm), asfaltového pojiva 160/200 a hodnoceného fileru. Velikosti zrn fileru musí být menší než 0,125 mm. V souladu s požadavky normového postupu má asfaltová směs jasně dané požadavky na obsah jednotlivých frakcí (viz kap.4.1.), nejedná se tedy o směs, která by odpovídala některé z výrobních norem. Z připravené směsi se vytvoří sada Marshallových zkušebních těles, polovina těles se vloží do vodní lázně o teplotě $(40 \pm 1) ^\circ\text{C}$ a nechají se po dobu 48 h temperovat. U všech těles se před temperací stanoví objem dle ČSN EN 12697-12. Po temperaci se u těles stanoví objem dle ČSN EN 12697-6 a dále se stanoví hodnoty stability podle Marshalla všech těles dle ČSN EN 12697-34. [41]

Pro účely této diplomové práce byl výše uvedený postup modifikován. Pro každou variantu asfaltové směsi bylo vždy vyrobeno 12 zkušebních těles a to způsobem, kdy 6 zkušebních těles bylo hutněno 2x50 údery Marshallova pěchu a 6 zkušebních těles 2x25 údery Marshallova pěchu. U druhé sady došlo po stanovení rozměrů a hmotnosti k rozdělení zkušebních těles na dvě skupiny, přičemž první skupina byla ponechána při laboratorní teplotě v suchém stavu a druhá skupina byla saturována dle postupu, který je uveden pro stanovení odolnosti asfaltové směsi proti účinkům vody. Tělesa byla uložena na 72 hodin do vodní lázně.

U sady zkušebních těles hutněných 2x50 údery byla vždy stanovena objemová hmotnost v souladu s ČSN EN 12697-6 a následně bylo provedeno stanovení tuhosti dle ČSN EN 12697-26, metoda C (tuhost stanovená na válcových zkušebních tělesech opakovaným namáháním v příčném tahu), a to při teplotě $15 ^\circ\text{C}$. Následně byla zkušební tělesa rozdělena na dvě skupiny, kdy první skupina byla ponechána při laboratorní teplotě v suchém stavu a druhá sada byla uložena do vodní lázně při teplotě $40 ^\circ\text{C}$. Oproti postupu uvedenému v ČSN EN 1744-4 tělesa nebyla ponechána ve vodní lázni po dobu 48 hodin, ale 72 hodin shodně jako zkušební tělesa pro zkoušku stanovení odolnosti asfaltové směsi proti účinkům vody. Nakonec byla u saturované

i suché skupiny zkušebních těles provedena Marshallova zkouška při standardní teplotě 60 °C.

4.5.2. VÝPOČET ZVĚTŠENÍ OBJEMU

Procentuální zvětšení objemu vyjadřuje citlivost asfaltové směsi na vodu a pro výpočet se postupuje dle následujícího vztahu: [41]

$$Q = 100 \times \frac{(V_Q - V_A)}{V_A} \quad [\%]$$

V_Q objem těles před temperací, [cm³]

V_A objem těles po temperaci, [cm³]

Výsledné zvětšení objemu je střední hodnota nejméně tří jednotlivých hodnot a je uvedeno s přesností na nejbližší 0,1 %. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší dílčí hodnotou nesmí být větší než 25 % střední hodnoty jednotlivých hodnot. Stanovení střední hodnoty vychází z hodnot v přípustném rozptylu. Zároveň rozdíl mezi vysušenou hmotností vzorku před a po zkoušce nesmí být větší než 2 g. [41]

Ztráta stability se vypočítá následovně:

$$S_{MA} = 100 \times \frac{S_M - S_{MQ}}{S_M} \quad [\%]$$

S_M stabilita bez zvětšení objemu při zkoušce, [kN]

S_{MQ} stabilita po zvětšení objemu ve zkoušce, [kN]

Ze ztrát se vypočítá střední hodnota ztráty stability, která se zaokrouhlí na nejbližší 1 %. [41]

4.6. STANOVENÍ ODOLNOSTI POJIVA PROTI STÁRNUTÍ

Pro zjištění, jaký vliv má zestárlé asfaltové pojivo, resp. pojivo a přilnavostní přísada na odolnost asfaltové směsi vůči působení vody, se provedla metoda stárnutí 3x RTFOT⁹ dle příslušné normy ČSN EN 12607-1. Princip zkoušky spočívá ve stanovení změny hmotnosti nebo vlastností asfaltového pojiva vlivem kombinovaného účinku působícího

⁹ Rolling Thin Oven Test = Tepelná stálost v tenké pohybující se vrstvě [47]

tepla a vzduchu. Ke sledovaným vlastnostem obvykle patří penetrace, bod měknutí a dynamická viskozita. [47]

V případě této diplomové práce se metoda stárnutí zvolila tak, aby sloužila pro posouzení i teplotní stability přílnavostní přísady vmíchané do asfaltového pojiva, protože probíhající výzkumy či již publikované výsledky se stejnou problematikou, jsou dostupné jen v minimální míře.

4.6.1. POSTUP ZKOUŠKY

Na referenčním vzorku se nejprve stanoví počáteční vlastnosti asfaltového pojiva (penetrace, bod měknutí, dynamická viskozita). Po té se do skleněných nádob nalije $(35,0 \pm 0,5)$ g pojiva. Nádoby se umístí do speciálně vybavené sušárny, která byla předem vyhřáta na zkušební teplotu. Držák, ve kterém jsou umístěné nádoby, se otáčí s frekvencí $(15,0 \pm 0,2)$ min^{-1} . Průtok vzduchu v sušárně je nastaven na $(4,0 \pm 0,2)$ l/min. Když teplota v sušárně dosáhne o 1 °C nižší hodnotu, než je požadovaná zkušební teplota, nastaví se odpočet zkoušky, která trvá (75 ± 1) min. Po skončení zkoušky se nádoby vyjmou a do 72 h od skončení zkoušky se na nich stanoví sledované vlastnosti v souladu s příslušnými normami. [47]

V praktické části této diplomové práce byla metoda zopakována celkem 3x, než bylo asfaltové pojivo (resp. pojivo a přísada) použito k stanovení přílnavosti dle kap. 4.2. Zároveň je třeba podotknout, že metoda stárnutí asfaltového pojiva byla provedena za účelem posouzení vlivu stárnutí na přílnavost, nikoliv ke stanovení změn vlastností asfaltového pojiva, jak je uvedeno v normě. Metoda nebyla aplikována na všechny posuzované varianty, u kterých se kamenivo míhalo s nezestárnutými asfaltovými pojivy, příp. s jejich kombinacemi s přílnavostními přísadami.

5. VÝSLEDKY PRAKTICKÉHO MĚŘENÍ

Výsledky byly získány z laboratorních měření, které proběhly v silniční laboratoři na fakultě stavební ČVUT v Praze. Většinu měření provedla autorka diplomové práce sama. Pro doplnění a rozšíření výsledků jsou v práci uvedeny také výsledky provedených zkoušek, na kterých se podílel vedoucí diplomové práce a Ing. Tereza Valentová (doktorandka katedry silničních staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze). Je třeba zdůraznit, že vedoucí diplomové práce nebo Ing. Valentová byli vždy druhým hodnotitelem výsledků při zkoušce přilnavosti dle ČSN 73 6161.

5.1. STANOVENÍ PŘILNAVOSTI VIZUÁLNÍ METODOU

V této kapitole je hodnoceno kamenivo s různými druhy pojiva z hlediska přilnavosti dle příslušných norem. Zkouška byla vždy provedena na kamenivu frakce 8/11 (vyjma kameniva Chlum) s obsahem 3,00 % (dle evropské normy) a 3,85 % (dle české normy) pojiva. Dále jsou zde uvedeny výsledky přilnavostí kameniva k pojivu, které bylo vylepšeno přilnavostní přísadou a kameniva k pojivu, kdy bylo kamenivo předmícháno se zvoleným typem fileru, a to vždy v množství 3 % hm. kameniva (na 300 g kameniva bylo přidáno 30 g fileru). Pro srovnání jsou zde uvedeny i výsledky přilnavostí se zestárlým pojivem, případně s pojivem a přísadou s jednotnou dávkou pojiva 3,85 % hm. Souhrnná tabulka výsledků je uvedena v příloze.

5.1.1. BRANT

□ KAMENIVO + POJIVO:

NÁZEV POJIVA	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
		VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70	3,85	D	70	Nevyhovující
PMB 25/55-60	3,85	C+	83	Vyhovující

Tabulka 8 - Hodnocení přilnavosti kameniva Brant s referenčním pojivem

□ KAMENIVO + POJIVO + PŘILNAVOSTNÍ PŘÍSADA:

NÁZEV POJIVA + NÁZEV PŘÍSADE	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
		VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70 + DP500T	3,85	B-C	85	Vyhovující
50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	B+	92	Dobrá

Tabulka 9 - Hodnocení přilnavostní kameniva Brant s pojivem a přilnavostní přísadou

Kamenivo Brant bylo smícháno pouze s vyšším množstvím pojiva 50/70 a PMB 25/55-60. Dále byly k pojivu přidány dvě přilnavostní přísady: DP500T a Iterlene. Kamenivo Brant je tvořeno převážně křemenem a živcem, proto není neobvyklé, že pouze s referenčním pojivem 50/70 vykazuje kamenivo ne zcela vyhovující přilnavost. Ostatní varianty splnily kritéria, nejlepší přilnavost vykazovala směs s přilnavostní přísadou Iterlene SL/100 PLUS, s kterou došlo k obalení 92 % povrchu kameniva.

5.1.2. CHLUM

☐ KAMENIVO + POJIVO:

NÁZEV POJIVA	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
		VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70	3,85	C-D	75	Nevyhovující
PMB 25/55-60	3,85	B-C	85	Vyhovující
ZESTÁRLÉ POJIVO				
50/70	3,85	C-D	75	Nevyhovující
PMB 25/55-60	3,85	C	80	Vyhovující

Tabulka 10 - Hodnocení přilnavosti kameniva Chlum s referenčním pojivem

☐ KAMENIVO + POJIVO + PŘILNAVOSTNÍ PŘÍSADA:

NÁZEV POJIVA + NÁZEV PŘÍSADY	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
		VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70 + DP500T	3,85	C-	77	Nevyhovující
50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	C-	78	Vyhovující
ZESTÁRLÉ POJIVO A PŘÍSADA				
50/70 + DP500T	3,85	C-D	75	Nevyhovující
50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	C-	78	Vyhovující

Tabulka 11 - Hodnocení přilnavosti kameniva Chlum s pojivem a přilnavostní přísadou

KAMENIVO + POJIVO + FILER:

NÁZEV POJIVA	DÁVKA POJIVA [%]	NÁZEV FILERU	DÁVKA FILERU [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
				VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70	3,85	Brant	3,00	A-B	95	Dobrá
		Bystřec		A-	97	Výborná
		Chrtníky		A-	98	Výborná
		Litice		A	100	Výborná
		Libochovany		A-	97	Výborná
		Plešovice		B-C	86	Vyhovující
		Plešovice + mastek		A-	97	Výborná
		Vápencová moučka		B	90	Dobrá

Tabulka 12 - Hodnocení přilnavosti kameniva Chlum s pojivem a filerem

Vzhledem k tomu, že těžená hornina (znělec) v lokalitě Chlum je z hlediska přilnavosti spíše problematická hornina, byla u tohoto kameniva zvolena nejširší paleta možných variant. Kamenivo Chlum tak bylo testováno s referenčním pojivem, přilnavostními přísadami a zvolenými druhy filerů. U toho kameniva byla použita frakce 8/16.

S přihlédnutím k „nepříznivému“ složení kameniva, které je tvořeno z více jak 50 % živcem, bylo pouze s referenčním pojivem 50/70 dosaženo nevyhovující úrovně obalení kameniva. Podobného výsledku bylo dosaženo při přidání přilnavostní přísady DP500T. Naopak u polymerem modifikovaného pojiva a přilnavostní přísady Iterlene došlo k nárůstu adheze v průměru o 6 %, čímž se úroveň adheze stala vyhovující. Negativní vliv zestárlého pojiva se u silničního asfaltu 50/70 neprojevil vůbec, u PMB 25/55-60 jen velmi nepatrně. U variant s přilnavostními přísadami se vliv stárnutí pojiva i přísady neprojevil vůbec.

Nejlepších výsledků bylo dosaženo u variant s přidaným filerem. Průměrná hodnota přilnavosti byla 95 %. Pouze varianta s filerem Litice dosáhla 100% obalení kameniva. V této sadě testování dopadla nejhůře varianta s filerem Plešovice, kde úroveň obalení dosáhla pouze na stupeň vyhovující. Je patrné, že pokud je k fileru Plešovice přidán mastek, dosáhne se zlepšení přilnavosti přibližně o 10 %.

5.1.3. LIBODŘICE

KAMENIVO + POJIVO:

NÁZEV POJIVA	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
		VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70	3,00	B-C	85	Vyhovující
	3,85	C	80	Vyhovující

PMB 25/55-60	3,00	A-	97	Výborná
	3,85	A-	97	Výborná
PMB 45/80-55	3,85	B-C	85	Vyhovující
ZESTÁRLÉ POJIVO				
50/70	3,85	C	80	Vyhovující
PMB 25/55-60	3,85	B+	95	Výborná
PMB 45/80-55	3,85	B-C	85	Vyhovující

Tabulka 13 - Hodnocení přilnavosti kameniva Libodřice s referenčním pojivem

☐ KAMENIVO + POJIVO + PŘILNAVOSTNÍ PŘÍSADA:

NÁZEV POJIVA + NÁZEV PŘÍSADY	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
		VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70 + Impact 8000	3,00	A-B	95	Dobrá
	3,85	B+	92	Dobrá
50/70 + DP500T	3,00	B-C	85	Vyhovující
	3,85	C	80	Vyhovující
50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,00	B	90	Dobrá
	3,85	B+	92	Dobrá
ZESTÁRLÉ POJIVO A PŘÍSADA				
50/70 + Impact 8000	3,85	B	90	Dobrá
50/70 + DP500T	3,85	C	80	Vyhovující
50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	B	90	Dobrá

Tabulka 14 - Hodnocení přilnavosti kameniva Libodřice s pojivem a přilnavostní přísadou

Kamenivo Libodřice prokázalo dobrou přilnavost se všemi druhy asfaltových pojiv a v kombinaci s přilnavostními přísadami. Hornina amfibolit je z více jak 50 % tvořen amfibolem, který zřejmě vykazuje dobré adhezní vlastnosti s pojivem. Oproti předchozím dvěma kamenivům taktéž vykazuje kamenivo nižší nasákavost, což by rovněž mohlo vést k lepší přilnavosti.

Opět bylo prokázáno, že pokud je do směsi přidáno větší množství pojiva, nedojde k nárůstu přilnavosti. Nejlepšího výsledku bylo dosaženo u směsi s 3,00 % hm. polymerem modifikovaným pojivem PMB 25/55-60, kde hodnota přilnavosti dosáhla 97 %. Vzorke s přilnavostními přísadami Impact a Iterlene vykázaly přilnavost přibližně o 5 až 10 % lepší než se samotným pojivem, zatímco přísada DP500T nezlepšila přilnavost vůbec.

Z praktického hlediska lze konstatovat, že zestárlé asfaltové pojivo (resp. pojivo kombinované s přilnavostní přísadou) vykazovaly stejné hodnoty přilnavostí, jako nezestárlé varianty. Pokud, u některých variant došlo k naměření horší přilnavosti, jednalo se řádově o procentuální rozdíl max. 2 %, který na celkovou klasifikaci neměl vliv.

5.1.4. MARKOVICE

□ KAMENIVO + POJIVO:

NÁZEV POJIVA	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
		VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70	3,00	D	70	Nevyhovující
	3,85	C	80	Vyhovující
PMB 25/55-60	3,85	A-B	95	Výborná
PMB 45/80-55	3,00	C	80	Vyhovující
	3,85	C+	83	Vyhovující
ZESTÁRLÉ POJIVO				
50/70	3,85	C-	78	Vyhovující
PMB 25/55-60	3,85	B+	93	Dobrá
PMB 45/80-55	3,85	B-C	88	Vyhovující

Tabulka 15 - Hodnocení přilnavosti kameniva Markovice s referenčním pojivem

□ KAMENIVO + POJIVO + PŘILNAVOSTNÍ PŘÍSADA:

NÁZEV POJIVA + NÁZEV PŘÍSADE	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
		VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70 + Impact 8000	3,00	A-B	94	Dobrá
	3,85	A-B	94	Dobrá
50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,00	A-	98	Výborná
	3,85	A-	98	Výborná
ZESTÁRLÉ POJIVO A PŘÍSADA				
50/70 + Impact 8000	3,85	B	90	Dobrá
50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	A-B	95	Výborná

Tabulka 16 - Hodnocení přilnavosti kameniva Markovice s pojivem a přilnavostní přísadou

Kamenivo Markovice má po podobné mineralogické složení jako předchozí kamenivo, proto jsou i výsledky s referenčním pojivem podobné. Zde se již promítl vliv dávkování, neboť vzorek s 3,00 % hm. pojiva 50/70 nedosáhl požadované přilnavosti, ale při dávkování 3,85 % naopak ano. Rozdíl v dávkování byl také nepatrně znát u pojiva PMB 45/80-55, ovšem rozdíl získaných hodnot je velmi malý a dalo by se říci, že

výsledky jsou prakticky totožné. Pojivo PMB 25/55-60 opět prokázalo, že dosahuje výborné přilnavosti. Obě přilnavostní přísady, které byly do pojiva 50/70 přidány, výrazně zlepšily přilnavost v průměru o 20 % oproti samotnému pojivu 50/70. Dávkování pojiva opět nemělo význam a u obou přísad byly výsledky totožné.

U kameniva Markovice je již patrné zhoršení přilnavosti vlivem stárnutí asfaltového pojiva, popř. pojiva a přilnavostní přísady. Výsledky jsou ovšem jen nepatrně rozdílné a u většiny variant nelze přisuzovat vliv účinku stárnutí na celkové hodnocení adheze. Pouze u varianty s pojivem PMB 25/55-60 došlo ke změně hodnocení z výborné na dobrou. Naopak u pojiva PMB 45/80-55 se přilnavost vlivem stárnutí zlepšila o 5 %.

5.1.5. STRUSKA DESTRO

□ KAMENIVO + POJIVO:

NÁZEV POJIVA	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
		VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70	3,85	E-	57	Nevyhovující
PMB 25/55-60	3,85	B	90	Dobrá
PMB 45/80-55	3,85	C-D	75	Nevyhovující
	4,63	C-D	75	Nevyhovující
ZESTÁRLÉ POJIVO				
50/70	3,85	E-	57	Nevyhovující
PMB 25/55-60	3,85	B-	87	Dobrá
PMB 45/80-55	3,85	C-D	75	Nevyhovující

Tabulka 17 - Hodnocení přilnavosti kameniva Strusky DESTRO s referenčním pojivem

□ KAMENIVO + POJIVO + PŘILNAVOSTNÍ PŘÍSADA:

NÁZEV POJIVA + NÁZEV PŘÍSA DY	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
		VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70 + Impact 8000	3,85	C	80	Vyhovující
	4,63	C+	83	Vyhovující
50/70 + DP500T	3,85	C	80	Vyhovující
	4,63	B-C	86	Vyhovující
50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	B+	92	Dobrá
	4,63	B+	92	Dobrá
ZESTÁRLÉ POJIVO A PŘÍSADA				
50/70 + Impact 8000	3,85	C-	77	Vyhovující
50/70 + DP500T	3,85	C-	78	Vyhovující

50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	B	90	Dobrá
------------------------------------	------	---	----	-------

Tabulka 18 - Hodnocení přilnavosti kameniva Strusky DESTRO s pojivem a přilnavostní přísadou

Umělé hutné kamenivo v podobě vysokopecní strusky se vyznačuje vysokou nasákavostí vůči vodě a vysokou pórovitostí, což se pravděpodobně projevilo v jejím testování na přilnavost. Protože má struska jinou objemovou hmotnost, než ostatní použitá kameniva, bylo dávkování přepočítáno na 3,85 % hm. a 4,63 % hm. Struska byla smíchána se všemi referenčními pojivy, pouze u pojiva PMB 45/80-55 byly aplikovány obě varianty dávkování, které ovšem nevykazovaly žádné rozdíly. Už při mísení se vyskytl problém s obalením a do některých pórů kameniva se nepodařilo pojivo dostat a zkouška musela být opakována. Bohužel i s dvěma přilnavostními přísadami (Impact a DP500T) byla dosažena jen průměrná úroveň kvality asfaltového filmu (přilnavosti), v průměru bylo dosaženo 83 % obalení zrn asfaltovým pojivem. Nejlepší zlepšení přilnavosti bylo dosaženo s referenčním pojivem PMB 25/55-60 a s pomocí přilnavostní přísady Iterlene. Obě varianty vykazovaly dobrou přilnavost. Výsledky potvrzují závěry v kap 3.4., která říká, že velmi pórovitý povrch kameniva může zapříčinit oddělování částic asfaltového pojiva a tím zapříčinit vznik křehkého povrchu pojiva, které je náchylnější na poškození vodou.

Jak je z výsledných tabulek patrné, zvýšené dávkování zlepšilo přilnavost pouze u dvou přilnavostních přísad, avšak rozdíl mezi naměřenými hodnotami je velmi malý a výsledky můžeme označit za totožné. U třetí přísady a referenčního pojiva nebyl zaznamenán žádný pozitivní vliv zvýšené dávky pojiva a proto je dostačující nižší dávka pojiva.

Vliv zestárlého pojiva byl lehce znatelný u varianty PMB 25/55-60 a u všech variant s přilnavostními přísadami, výsledné hodnocení však nebylo rozdílné a řádově se snížení pohybovalo v rozmezí 2 až 3 %.

5.1.6. ZBEČNO

□ KAMENIVO + POJIVO:

NÁZEV POJIVA	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
		VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70	3,00	C	80	Vyhovující
	3,85	C-	77	Vyhovující
PMB 25/55-60	3,85	B-	87	Dobrá
PMB 45/80-55	3,00	C+	83	Vyhovující
	3,85	C+	83	Vyhovující

ZESTÁRLÉ POJIVO				
50/70	3,85	C-D	75	Nevyhovující
PMB 25/55-60	3,85	B-	87	Dobrá
PMB 45/80-55	3,85	B-C	85	Vyhovující

Tabulka 19 - Hodnocení přilnavosti kameniva Zbečno s referenčním pojivem

KAMENIVO + POJIVO + PŘILNAVOSTNÍ PŘÍSADA:

NÁZEV POJIVA + NÁZEV PŘÍSADY	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
		VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70 + Impact 8000	3,00	B-C	86	Vyhovující
	3,85	B-C	86	Vyhovující
50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,00	B-	88	Vyhovující
	3,85	B-	88	Vyhovující
ZESTÁRLÉ POJIVO A PŘÍSADA				
50/70 + Impact 8000	3,85	C+	83	Vyhovující
50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	B-C	85	Vyhovující

Tabulka 20 - Hodnocení přilnavosti kameniva Zbečno s pojivem a přilnavostní přísadou

KAMENIVO + POJIVO + FILER:

NÁZEV POJIVA	DÁVKA POJIVA [%]	NÁZEV FILERU	DÁVKA FILERU [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
				VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70	3,85	Brant	3,00	A-B	94	Dobrá
		Bystřec		A-	96	Dobrá
		Chrtníky		A	100	Výborná
		Litice		A	100	Výborná
		Libochovany		A	100	Výborná
		Plešovice		A-	96	Dobrá
		Plešovice + mastek		A	100	Výborná
		Vápencová moučka		A-	97	Výborná

Tabulka 21 - Hodnocení přilnavosti kameniva Zbečno s pojivem a filerem

Kamenivo Zbečno bylo testováno se třemi typy pojiva, dvěma přilnavostními přísadami a se všemi typy filerů, obdobně jako v případě kameniva Chlum. Všechny varianty dosáhly nejhůře vyhovující přilnavosti. Ačkoliv je hornina složená převážně z plagioklasů, pyroxenů a křemene, disponuje dobrými přilnavostními vlastnostmi, které mohou pravděpodobně vycházet z nízké nasákavosti kameniva.

Referenční pojiva 50/70 a PMB 45/80-55 dosáhly vyhovující úrovně přilnavosti a pojivo PMB 25/55-60 dobré úrovně přilnavosti. U silničního asfaltu 50/70 bylo zaznamenáno, že zvýšené dávkování vedlo dokonce k horší přilnavosti než nižší dávka pojiva, což může působit nelogicky, ale dle teoretických poznatků adheze je tento efekt možný. U ostatních variant se dávkování neprojevovalo vůbec. Varianty s přilnavostními přísadami Impact a Iterlene dosáhly také vyhovující hodnoty přilnavosti a jejich výsledky byly prakticky shodné, v průměru bylo dosaženo 87 % obalení.

Vliv stárnutí pojiva se projevil u všech testovaných variant, kromě varianty s pojivem PMB 25/55-60, kde získané výsledky byly totožné. U varianty s přilnavostní přísadou Impact došlo dokonce k mírnému zlepšení přilnavosti, a to o 3 %, naproti tomu u zbývajících variant došlo ke snížení přilnavosti. U varianty se silničním asfaltem 50/70 mělo snížení vliv i na celkové hodnocení, kdy směs se zestárlým pojivem byla klasifikována jako nevyhovující.

Nejlepších výsledků bylo, stejně jako u kameniva Chlum, dosaženo při vmíchání fileru do vzorku kameniva před jeho smísením s asfaltovým pojivem. Potvrdily se závěry citovaných studií v kap. 3.6., které zaznamenaly zlepšení pasivní přilnavosti směsi po přidání fileru. U čtyř variant byla dokonce zaznamenána 100 % přilnavost, jednalo se o filery: Chrtníky, Litice, Libochovany a Plešovice s mastkem. Filer Litice, který je z horniny tvořené amfibolem, albitem, chloritem a kalcitem, prokázal 100 % přilnavost taktéž u kameniva Chlum. Navíc výsledek ve studii [16], kde kamenivo s referenčním pojivem 50/70 dosáhlo 90 % přilnavosti, přispívá k předpokladu, že amfibol zlepšuje přilnavost kameniva k pojivu, pravděpodobně protože obsahuje nízké množství křemíku. Ostatní filery rovněž prokázaly zvýšení přilnavosti. Zajímavostí je, že opět, jako u vzorku kameniva Chlum, filer Plešovice nevykazoval takové zlepšení přilnavosti, jako po přidání mastku.

5.1.7. ZBRASLAV

□ KAMENIVO + POJIVO:

NÁZEV POJIVA	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
		VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70	3,00	C	80	Vyhovující
	3,85	C-	77	Vyhovující
PMB 25/55-60	3,85	B-C	85	Dobrá
ZESTÁRLÉ POJIVO				
50/70	3,85	C-D	75	Nevyhovující
PMB 25/55-60	3,85	B-C	85	Dobrá

Tabulka 22 - Hodnocení přilnavosti kameniva Zbraslav s referenčním pojivem

□ **KAMENIVO + POJIVO + PŘILNAVOSTNÍ PŘÍSADA:**

NÁZEV POJIVA + NÁZEV PŘÍSADY	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI		
		VIZUÁLNÍ	PROCENTUÁLNÍ	CELKOVÉ
50/70 + Impact 8000	3,85	B-C	85	Vyhovující
50/70 + DP500T	3,00	C+	83	Vyhovující
	3,85	C	80	Vyhovující
50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,00	B-	88	Vyhovující
	3,85	B-C	85	Vyhovující
ZESTÁRLÉ POJIVO A PŘÍSADA				
50/70 + Impact 8000	3,85	C+	83	Vyhovující
50/70 + DP500T	3,85	C	80	Vyhovující
50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	B-C	85	Vyhovující

Tabulka 23 - Hodnocení přilnavosti kameniva Zbraslav s pojivem a přilnavostní přísadou

Vzhledem k mineralogickému složení kameniva, které je tvořeno hlavně křemenem, živcem, kalcitem a chloritem, bylo možné předpokládat, že kamenivo bude vykazovat nedostatečnou přilnavost s pojivem. Zjištěné hodnoty, ale ukázaly, že i s referenčním pojivem 50/70 dosahuje kamenivo vyhovující přilnavosti. Nabízí se proto myšlenka, že by bylo vhodné podrobit kamenivo přesné mineralogické analýze, aby byl zjištěn co nejpřesnější poměr minerálů v hornině.

Pro zlepšení přilnavosti byly do pojiva přidány tři přilnavostní přísady, které sice zlepšily hodnotu přilnavosti, ale nikoliv v takové míře, jak by se očekávalo. Všechny vzorky dosáhly vyhovující úrovně přilnavosti, s průměrným výsledkem 85 %.

Vliv zestárlého pojiva, popř. přilnavostní přísady byl buď žádný, nebo jen lehce negativní. U variant s referenčním asfaltem 50/70 a asfaltem 50/70 kombinovaným s přísadou Iterlene SL/100 PLUS došlo k snížení hodnoty přilnavosti o 2 %, což u první varianty vedlo ke klasifikaci nevyhovující.

Zajímavé je, že všechny varianty se zvýšenou dávkou pojiva dosáhly horší přilnavosti než s nižší dávkou pojiva. Může to být zapříčiněno například velkým množstvím elektronegativních míst na povrchu kameniva, které ani vlivem většího množství pojiva nedokáží svou polaritu změnit a navázat dostatečné adhezní spojení s pojivem.

5.2. STANOVENÍ PŘILNAVOSTI DIGITÁLNÍ SNÍMKOVOU ANALÝZOU

Pomocí softwaru PyPAIS byly vzorky přilnavostí asfaltu ke kamenivu podrobeny snímkové analýze, která měla určit procentuální hodnotu obalení zrn kameniva asfaltovým pojivem. Bohužel se podařilo nafotit jen některé z připravených vzorků a některé snímky bohužel nedosahovaly požadované kvality nafocení, tudíž jejich vyhodnocení je zkreslené. Všechny snímky byly pořízeny ve spolupráci s Ing. Janem Trejbalem, Ph.D., který se touto problematikou zabývá. Vzhledem k tomu, že autorka této diplomové práce disponuje potřebnou fotografickou technikou, pokusila se vybrané vzorky nafotit sama, ale výsledné snímky nakonec mohly být vyhodnoceny jen v omezené míře, protože nedosahovaly požadovaných parametrů ostrosti a textury pro snímkovou analýzu.

Aby bylo možné získané hodnoty porovnat s klasickým vizuálním hodnocením, jsou v této kapitole uvedeny pouze získané procentuální hodnoty přilnavosti.

KAMENIVO	NÁZEV POJIVA (PŘÍSADY/FILERU)	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ %	
			VIZUÁLNÍ	FOTOGRAFICKÉ
BRANT	50/70	3,85	70	54,3 (90,1)

Tabulka 24 - Porovnání vizuálního a fotografického hodnocení přilnavosti u kameniva Brant

Kamenivo Brant bylo nafoceno pouze s referenčním silničním asfaltem 50/70. Vzhledem k tomu, že první snímek byl ohodnocen pouze 54,3 % byla analýza opakována s jiným snímkem, který určil, že je kamenivo obaleno z 90,1 %. Jelikož obě získané hodnoty se od vizuálního hodnocení značně liší, není vhodné přilnavost hodnotit pouze na základě snímkové analýzy. Pro získání relevantnějších výsledků by bylo vhodné měření opakovat. Je třeba zde uvést, že digitální snímkování se na FSv ČVUT v Praze provádí přibližně 1,5 roku a zkušenosti se snímáním a následným vyhodnocováním se teprve sbírají.

KAMENIVO	NÁZEV POJIVA (PŘÍSADY/FILERU)	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ %	
			VIZUÁLNÍ	FOTOGRAFICKÉ
CHLUM	50/70	3,85	75	93,0 (91,6)
	50/70 + DP500T	3,85	77	93,9 (98,7)
	50/70 + Plešovice - mastek	3,85	97	97,2
	50/70 + Brant	3,85	95	96,7
	50/70 + Vápencová moučka	3,85	90	93,7

	50/70 + Plešovice	3,85	86	97,0
--	-------------------------	------	----	------

Tabulka 25 - Porovnání vizuálního a fotografického hodnocení přilnavosti u kameniva Chlum

Kamenivo Chlum bylo nafoceno celkem v šesti variantách. S referenční asfaltem 50/70 se stejně jako u předchozího kameniva hodnoty značně liší, i když byly fotografie hodnoceny dvakrát. Stejný výsledek byl zaznamenán i u varianty s přilnavostní přísadou DP500T. Oproti tomu u tří variant s filery bylo hodnocení vizuální i fotografické velmi podobné. V případě varianty s filerem Plešovice + mastek se fotografická hodnota lišila od vizuální dokonce o pouhé 0,2 %.

KAMENIVO	NÁZEV POJIVA (PŘÍSADY/FILERU)	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ %	
			VIZUÁLNÍ	FOTOGRAFICKÉ
LIBODŘICE	50/70 +	3,00	90	97,5
	Iterlene SL/100 PLUS	3,85	92	*

Tabulka 26 - Porovnání vizuálního a fotografického hodnocení přilnavosti u kameniva Libodřice

U kameniva Libodřice byly nafoceny obě varianty s přilnavostní přísadou Iterlene. Bohužel druhou variantu s vyšší dávkou pojiva nebylo možné hodnotit z důvodu nedostatečné kvality snímku, proto je pole tabulky označeno hvězdičkou. Varianta s nižší dávkou pojiva byla sice hodnocena s rozdílem 7,5 %, ale přilnavost je přesto velmi vysoká.

KAMENIVO	NÁZEV POJIVA (PŘÍSADY/FILERU)	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ %	
			VIZUÁLNÍ	FOTOGRAFICKÉ
MARKOVICE	PMB 45/80-55	3,00	80	97,1
		3,85	83	96,5
	50/70 + Impact 8000	3,00	94	97,9
		3,85	94	98,2
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,00	98	97,0
		3,85	98	98,2

Tabulka 27 - Porovnání vizuálního a fotografického hodnocení přilnavosti u kameniva Markovice

Nejnižší zaznamenaná fotografická hodnota přilnavosti u kameniva Markovice byla 96,5 %, což prakticky znamená, že přilnavost u všech nafocených variant dosáhla úrovně *výborná*. Pokud se ale podíváme na vizuální hodnocení, stejné klasifikace dosáhla pouze varianta s přilnavostní přísadou Iterlene SL/100 PLUS. Největší rozdíl v získaných hodnotách byl zjištěn u obou variant s pojivem PMB 45/80-55, kde se hodnoty lišily o více jak 13 %. U varianty s přísadou Iterlene SL/100 PLUS a 3,85 % asfaltového pojiva byly výsledky prakticky shodné.

KAMENIVO	NÁZEV POJIVA (PŘÍSADY/FILERU)	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ %	
			VIZUÁLNÍ	FOTOGRAFICKÉ
STRUSKA	50/70	3,85	57	78,6
	PMB 25/55-60	3,85	90	92,4
	50/70	3,85	80	98,0
	+ Impact 8000	4,63	83	95,7
	50/70	3,85	80	95,9
	+ DP500T	4,63	86	95,6
	50/70	3,85	92	96,8
	+ Iterlene SL/100 PLUS	4,63	92	97,7

Tabulka 28 - Porovnání vizuálního a fotografického hodnocení přilnavosti u Strusky

Dle výsledků digitální snímkové analýzy umělého hutného kameniva, by bylo možné usoudit, že vysokopecní struska disponuje dobrou až výbornou přilnavostí, vyjma varianty se silničním asfaltem 50/70. Z hlediska vizuálního hodnocení byly stupněm *dobrá* klasifikovány pouze dvě varianty. Nejbližší výsledek obou hodnotících metod byl zaznamenán u varianty s pojivem PMB 25/55-60, kde se výsledky lišily o 2,4 %. Nejvíce se metody rozcházely u vzorku s referenčním asfaltem 50/70, a to dokonce o více jak 20 %. Rozdíly v ostatních výsledcích se pohybovaly v rozmezí od 5 do 18 %.

KAMENIVO	NÁZEV POJIVA (PŘÍSADY/FILERU)	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ %	
			VIZUÁLNÍ	FOTOGRAFICKÉ
ZBEČNO	PMB 45/80-55	3,00	83	94,4
		3,85	83	97,0
	50/70 + Impact 8000	3,00	86	97,0
		3,85	86	97,4
	50/70 + Plešovice - mastek	3,85	100	96,4
		50/70 + Brant	3,85	94
	50/70 + Vápencová moučka		3,85	97
		50/70 + Plešovice	3,85	96

Tabulka 29 - Porovnání vizuálního a fotografického hodnocení přilnavosti u kameniva Zbečno

U kameniva Zbečno byly nafoceny varianty s jedním referenčním pojivem, pojivem v kombinaci s přísadou a čtyři varianty s pojivem a filerem. Opět si můžeme všimnout, že snímková analýza vyhodnotila přilnavost jako velmi vysokou u všech variant. Zatímco u ostatních použitých kameniv dosahovala přilnavost vyhodnocená pomocí fotografie většinou vyšších hodnot, zde už se vyskytují případy, kde vizuální hodnocení

bylo vyšší než digitální snímkové. Konkrétně se jednalo o případ varianty s filerem Plešovice + mastek a s vápencovou moučkou, kde se výsledky lišily o přibližně 3 %. Nejlepší přilnavost z hlediska snímkové analýzy byla naměřena u varianty asfaltu 50/70 s přilnavostní přísadou Impact. Shodné vyhodnocení bylo naměřeno u varianty s filerem Brant a z praktického hlediska i u varianty s filerem Plešovice (rozdíl byl pouze 0,2 %).

KAMENIVO	NÁZEV POJIVA (PŘÍSADY/FILERU)	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ %	
			VIZUÁLNÍ	FOTOGRAFICKÉ
ZBRASLAV	50/70	3,00	80	94,2
		3,85	77	97,0
	PMB 25/55-60	3,85	85	95,2
	50/70 + Impact 8000	3,85	85	96,3
	50/70 + DP500T	3,00	83	93,6 (93,5)
		3,85	80	98,0 (95,2)

Tabulka 30 - Porovnání vizuálního a fotografického hodnocení přilnavosti u kameniva Zbraslav

Poslední kamenivo Zbraslav bylo dle vizuálního hodnocení klasifikováno jako kamenivo s vyhovující přilnavostí, oproti tomu snímková analýza ohodnotila přilnavost o jeden stupeň vyšším hodnocením, a to stupněm *dobrá*. Bohužel téměř všechny snímky disponovaly špatnou texturou, a proto jsou výsledky značně zkreslené. V případě varianty s přilnavostní přísadou byl analyzován i jiný snímek a jsou uvedeny obě získané hodnoty. Lze si všimnout faktu, že u variant s nižší dávkou pojiva se přilnavost dle vizuální hodnocení jevila jako lepší, než s vyšší dávkou pojiva, zatímco dle snímkové analýzy je tomu naopak. Největší rozdíl hodnot je znatelný u varianty s referenčním pojivem 50/70, kde se výsledky lišily o 14 a 20 %. U ostatních variant se odchylky hodnot pohybovaly v rozmezí od 10 do 15 %.

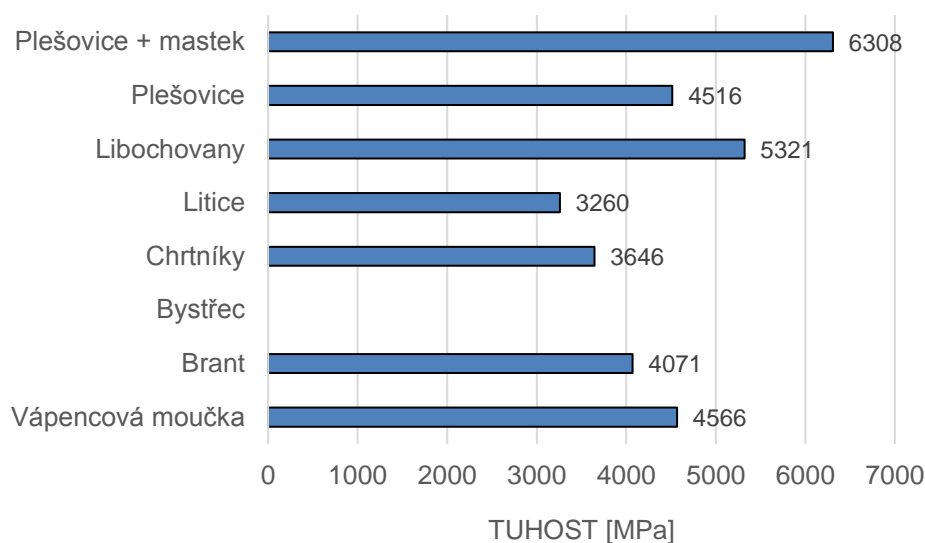
5.3. POSOUZENÍ MARSHALLOVÝCH ZKUŠEBNÍCH TĚLES

V této kapitole jsou shrnuty a prezentovány hodnoty hlavních veličin, které byly stanoveny na Marshallových zkušebních tělesech, která byla připravena ze směsi navržené dle požadavků přílohy A normy ČSN EN 1744-4. Jedná se o porovnání hodnot stanovených na vodou saturovaných a suchých vzorcích, které slouží jako jedna z možností vyhodnocení vlivu přidaného fileru na trvanlivost, popř. přilnavost při nepříznivém působení vody v posuzované asfaltové směsi. Jednotlivé hodnoty jsou primárně porovnávány s hodnotami stanovenými na vzorku obsahující jako přídavný filer vápencovou moučku, která se standardně používá v každé asfaltové směsi. Mezi hlavní posuzované hodnoty patří charakteristiky ITS, Marshallova stabilita

a Marshallova tuhost, které jsou pro přehlednost uvedeny v podobě poměrových ukazatelů v procentech. Pomocné výpočty, resp. tabulky se získanými hodnotami jsou uvedeny v příloze.

5.3.1. STANOVENÍ TUHOSTI

Na zkušebních tělesech byla nejprve stanovena tuhost nedestruktivní zkouškou dle metody C normy ČSN EN 12697-26 při teplotě 15 °C, která slouží jako vhodný ukazatel vlivu použitého fileru na tuhost dané asfaltové směsi. Bohužel tuhost vzorku s filerem Bystřec nebyla stanovena.



Graf 1 - Srovnání tuhostí vzorků s filery

Referenční vzorek s vápencovou moučkou dosáhl hodnoty tuhosti 4566 MPa. Tuto hodnotu překonaly pouze dva vzorky a to s filerem Libochovany a mastkem upraveným filerem Plešovice, přičemž poslední zmíněný dosáhl celkově nejvyšší tuhosti, konkrétně hodnoty 6308 MPa. Naopak nejnižší hodnota byla naměřena u varianty s filerem Litice, která dosáhla pouze 3260 MPa. Zbylé vzorky vykazovaly nižší hodnoty tuhosti v porovnání s referenční směsí, přičemž varianta s filerem Plešovice dosáhla téměř srovnatelné tuhosti jako referenční vzorek.

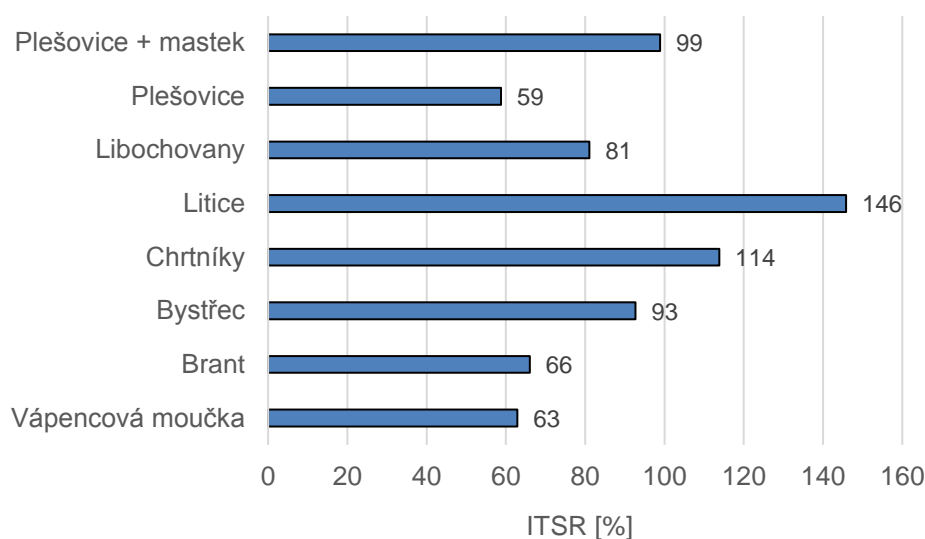
5.3.2. STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI ÚČINKŮM VODY

Pro posouzení vlivu vybraných filerů na odolnost vůči působení vody u připravených variant asfaltových směsí byly stanoveny hodnoty Marshallovy stability, Marshallovy tuhosti a ITS. Z těchto charakteristik byly stanoveny poměrové ukazatele $ITSR$, MT_{ratio} a MS_{ratio} , které porovnávají hodnoty získané na mokrých a suchých vzorcích, neboť lépe znázorňují odolnost asfaltové směsi vůči působení vody a teploty. V případě ukazatelů

MT_{ratio} a MS_{ratio} se jedná o ztrátové ukazatele, v jejichž případě platí, že čím je jejich hodnoty bližší nule, tím je výsledek příhodnější a asfaltová směs je méně náchylná na poškození vlivem vody (teploty). U ukazatele ITSR je tomu naopak.

□ ITSR (POMĚROVÝ UKAZATEL PEVNOSTÍ V PŘÍČNÉM TAHU)

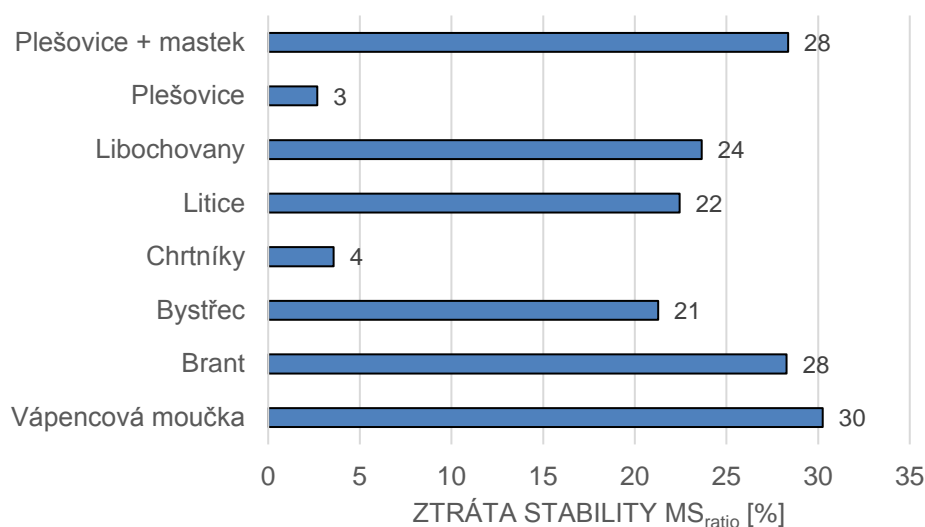
Hodnota ITSR udává poměr pevností v příčném tahu (dále jen *pevnost*) mokrých a suchých zkušebních těles hutněných energií Marshallova pěchu 2×25 úderů. Čím hodnota ukazatele blíže k 100 %, tím jsou hodnoty pevností srovnatelnější a lze usuzovat, že asfaltové směsi budou lépe odolávat negativnímu působení vody.



Graf 2 - Srovnání hodnot ITSR na vzorcích s filery

Z grafu je patrné, že referenční vzorek obsahující vápencovou moučku dosáhl pouze 63 % ITSR. Kromě vzorku s filerem Plešovice, tuto hodnotu překonaly všechny použité filery. Nejlepší poměr pevností byl vypočítán u varianty s filerem Litice, kde pevnost mokrých vzorků dokonce překonala pevnost suchých vzorků, což je nutné brát s opatrností, protože takový výsledek není standardní a obvykle může indikovat i možnou chybu při provedení zkoušky (například nedodržení zkušební teploty být o 1 °C). Vzhledem k tomu, že není známo pochybení vzniklé při zkoušení vzorku, nelze tento výsledek vyloučit. Obdobně tomu bylo i u vzorku s filerem Chrtníky, kde hodnota ITSR dosáhla 114 %. Vyrovnaný poměr pevností byl zaznamenán u varianty s filerem Plešovice + mastek. Vypočítaná hodnota ITSR byla 99 %.

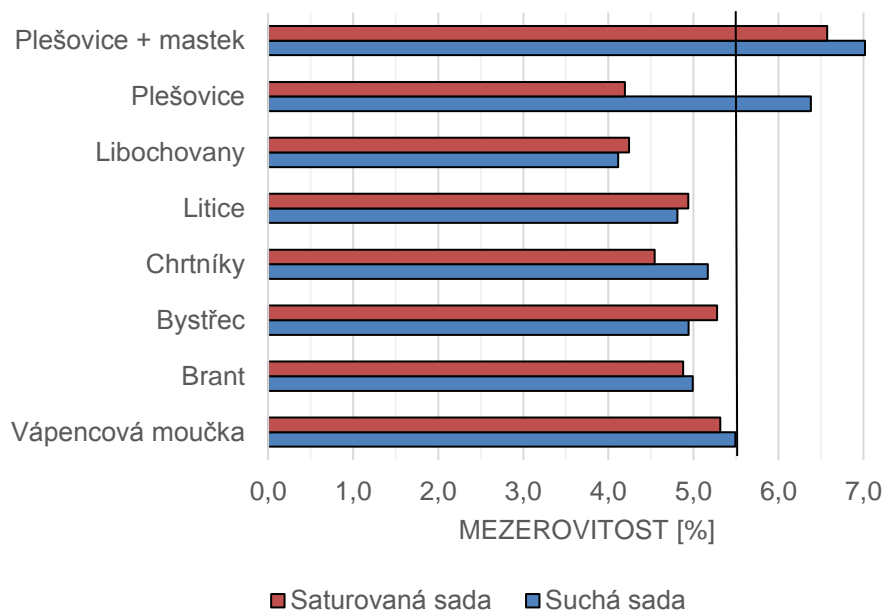
□ MARSHALLOVA STABILITA



Graf 3 – Srovnání hodnot ztráty Marshallovy stability na vzorcích s filery

V případě Marshallovy stability (dále jen *stabilita*) si lze povšimnout široké škály získaných hodnot ztrátového ukazatele. Zatímco u předchozích veličin, dosahoval vzorek s filerem Plešovice srovnatelných hodnot s referenčním vzorkem, v případě ztráty stability dle výsledků uvedených v grafu 3 dosahuje nejlepší hodnoty. U tohoto vzorku dosáhla hodnota ukazatele ztráty stability pouze 3 %. Jen o 1 % horší hodnoty dosáhla varianta s filerem Chrtníky. Nejhorší výsledek z hlediska ztráty stability vykázal do jisté míry paradoxně referenční vzorek s vápencovou moučkou, kde bylo dosaženo hodnoty 30 %. Téměř stejnou ztrátu stabilitu vykazovaly varianty s filery Brant a Plešovice + mastek (v případě tohoto druhého typu fileru je to s ohledem k výsledkům ITSR překvapující zjištění). U zbylých tří variant se dosažená hodnota ztráty stability pohybovala v rozmezí 21 až 24 %. S ohledem k rozdílným výsledkům mezi ztrátou stability a ITSR by bylo vhodné měření u některých variant opakovat, aby se buď potvrdily získané výsledky, nebo se poukázalo na případnou chybovost v případě některých variant.

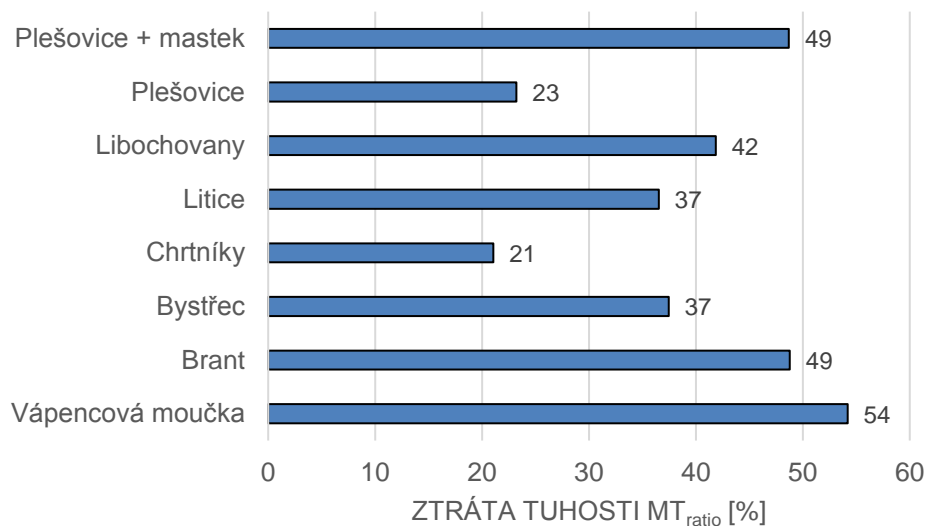
V této souvislosti je totiž otázkou, jak významný vliv, zejména v případě zkoušky stanovení ztráty stability, může sehrávat mezerovitost. Ta by dle požadavků přílohy A normy ČSN EN 1744-4 měla být na úrovni $(5,5 \pm 0,5) \%$ obj. Při snaze o zachování stejného složení asfaltové směsi pro všechny typy posuzovaných filerů nebyl tento předpis ve všech variantách dodržen a je tudíž možné, že odlišná mezerovitost měla na výsledek zkoušky též vliv. Pro srovnání jsou v grafu 4 uvedeny zjištěné mezerovitosti.



Graf 4 - Porovnání mezerovitostí suchých a saturovaných vzorků

Například u varianty s filerem Plešovice + mastek si můžeme všimnout, že požadovaná mezerovitost, byla značně překročena, čemuž odpovídá i vyšší hodnota ztráty stability. Rozkol však nastává u referenčního vzorku s vápencovou moučkou, který byl sice zhuštěn na požadovanou mezerovitost, jak v případě suchých, tak i vodou saturovaných zkušebních těles, avšak hodnota ztráty stability byla nejhorší ze všech zkoušených variant. Z dostupných hodnot znázorněných v grafu 3 a 4, nelze vyvodit jednoznačnou závislost, která by říkala, že čím je mezerovitost zkušebního tělesa nižší, tím bude taková asfaltová směs méně náchylná na ztrátu stability (tuhosti), neboť například varianta s filerem Libochovany disponovala nízkou mezerovitostí, avšak hodnota ztráty stability byla poměrně vysoká.

☐ MARSHALLOVA TUHOST

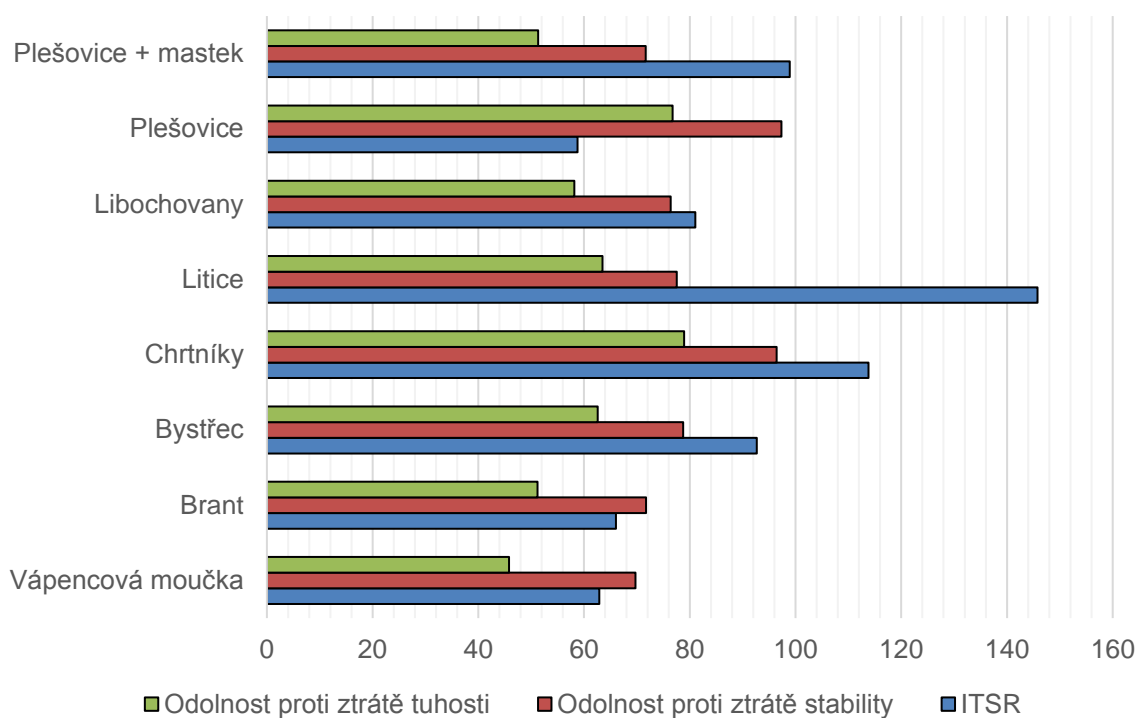


Graf 5 - Srovnání hodnot ztrát tuhostí na vzorcích s filery

Hodnoty ztráty Marshallovy tuhosti (dále jen *ztráta tuhosti*) jsou poměrově srovnatelné s výsledky ztráty Marshallovy stability. Opět byla nejhorší hodnota zaznamenána u referenční varianty s vápencovou moučkou, kde byla stanovena hodnota ztráty tuhosti 54 %. Druhé nejhorší hodnoty byly naměřeny na variantách s filery Brant a Plešovice + mastek, konkrétně 49 %. Naopak velmi příznivé výsledky ztráty tuhosti vykazovaly opět vzorky s filery Chrtníky a Plešovice. Průměrné hodnoty 40 % ztráty tuhosti dosáhly varianty s filery Bystřec, Litice a Libochovany.

5.3.3. CELKOVÉ ZHODNOCENÍ

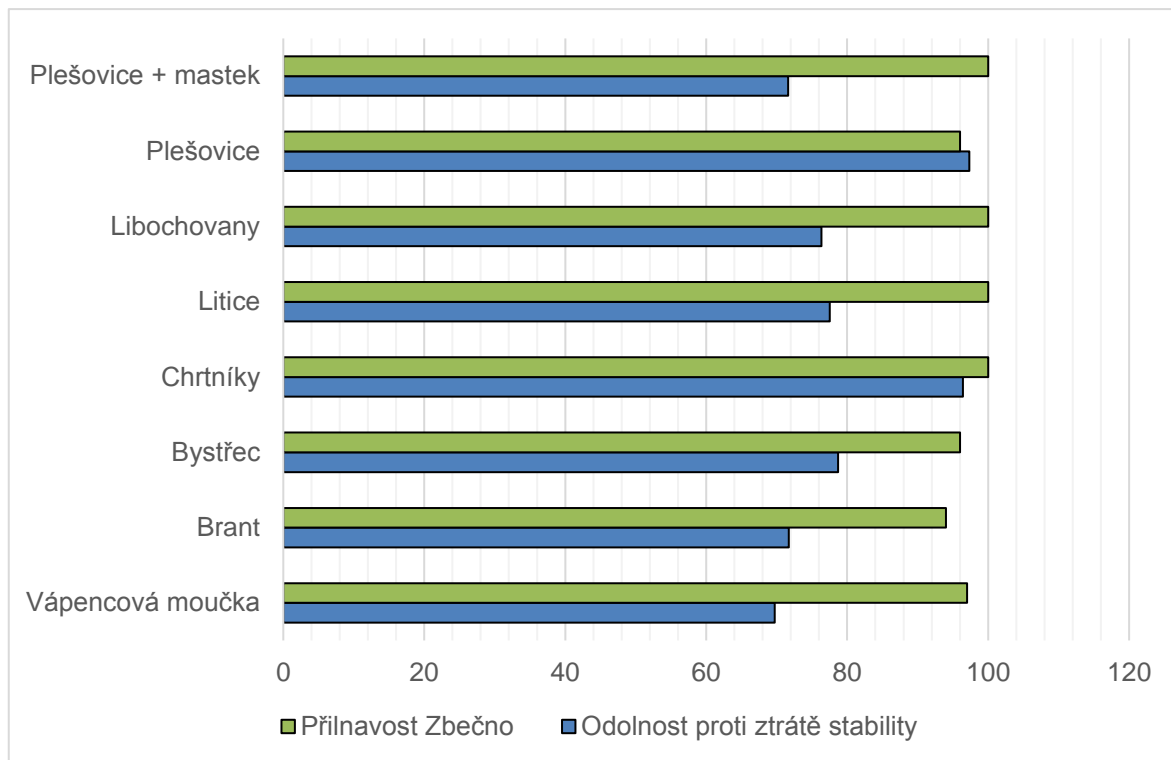
V následujícím grafu 6 je pro každou použitou variantu uvedeno srovnání veličin, které slouží jako ukazatel odolnost směsi vůči působení vody.



Graf 6 - Posouzení odolnosti vůči působení vody

Z celkového grafického srovnání je patrné, že referenční vzorek disponuje relativně vyrovnanými výsledky u všech posuzovaných veličin. Nejbližší hodnoty k referenčním, byly zaznamenány u varianty s filerem Brant, kde poměr ITSR byl vyšší a ztráty Marshallovy tuhosti i stability jen lehce zaostávaly za referenčními. Naopak nejhorší hodnoty co do vzájemné porovnatelnosti byly zjištěny u varianty s filerem Plešovice, kde hodnota ITSR nepřekonalá výsledek referenční asfaltové směsi a naopak ukazatele ztráty stability a ztráty tuhosti vykazovaly v zásadě nejlepší výsledek. Zajímavé je, že naopak varianta, kde byl použit filer Plešovice v kombinaci s mastkem dosáhl v oblasti hodnot ztráty stability a ztráty tuhosti, jen lehce nižších výsledných hodnot

oproti referenční asfaltové směsi a naopak hodnota ITSR dosáhla o více jak 30 % lepšího výsledku než referenční. Tedy v tomto případě v zásadě opačný výsledek v porovnání s variantou, kde se použil samotný filer Plešovice. Veškeré další varianty sice vykazovaly vysoké hodnoty ITSR, ale v případě zbývajících dvou ukazatelů více, či méně nedosahovaly potřebného zlepšení hodnoty ztráty tuhosti a ztráty stability.



Graf 7 – Srovnání výsledků zkoušky přilnavosti s MS_{ratio} v %

Z hlediska porovnání hodnot přilnavostí stanovených na kamenivu z lokality Zbečno s hodnotami ztráty Marshallovy stability jako ukazatelem přilnavosti ve směsích je patrné, že nelze přihlížet pouze k jednomu kritérium. Ačkoliv většina vzorků vykazovala velmi dobré přilnavostní vlastnosti, které byly zpravidla lepší než u referenčního fileru, u hodnot ukazatele ztráty stability nebyl trend vždy stejný (odlišné trendy pro filery Plešovice a Chrtníky, kde ztrátový ukazatel vykázal výrazné zlepšení oproti referenční směsi, což ale není nikterak patrné z hlediska zkoušky přilnavosti asfaltového pojiva ke kamenivu). Z grafu 7 vyplývá, že v zásadě většinu filerů by bylo možné doporučit jako ekvivalent vápencové moučky, přičemž z výsledků je patrné, že z obou použitých zkušebních metod potenciálně nejlepší výsledky vykazují filer Chrtníky a následně i filer Plešovice. V obou případech byla přilnavost na obou kamenivech výborná nebo dobrá a hodnota ztráty stability je významně lepší než referenční hodnota. Pokud bychom přihlíželi i k hodnotě ITSR, která není v grafu zohledněna, jeví se možnost nahrazení vápencové moučky filerem Chrtníky velmi příznivě. V porovnání s referenční variantou podobně příznivé je i nahrazení vápencové moučky filerem získaným z odprašků Litice nebo kombinace fileru Plešovice s mastkem. V případě fileru Plešovice by bylo nezbytné opakovat zkoušku ITSR pro potvrzení nebo naopak vyvrácení méně příznivé

hodnoty tohoto ukazatele. Potom i tento filer by byl vhodným příkladem ekvivalentu k tradiční vápencové moučce. Dalším filerem, který by mohl sloužit jako náhrada referenčního fileru, je filer Brant, jehož vlastnosti byly vcelku srovnatelné s hodnotami stanovenými na vzorku s vápencovou moučkou.

6. SHRUTÍ A ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce, bylo posoudit jednotlivé faktory ovlivňující přilnavost mezi kamenivem a asfaltovým pojivem jak z teoretických, tak praktických poznatků, a to včetně využití i netradičních nebo progresivních laboratorních postupů pro posouzení přilnavosti či trvanlivosti. Z dostupných vybraných pramenů, které se problematikou zabývaly v minulosti, opakovaně vyplynulo, že problematika přilnavosti mezi kamenivem a asfaltovým pojivem je komplexní systém, který nelze posuzovat pouze z jednoho hlediska. Velký podíl důvodu ztráty přilnavosti u asfaltových směsí je přisuzován složení zkoušené horniny a nedostatečné technologické kázni při mísení směsi, resp. nedostatečná teplota obalovaného kameniva, která vede k ulpění molekul vody na povrchu kameniva, díky čemuž dochází k vázání dalších molekul vody, které negativně působí na rozhraní mezi kamenivem a asfaltovým pojivem. Zkoušením různých druhů hornin bylo zjištěno, že některé obsažené minerály, které jsou spíše zásadité (např. kalcit) vykazují lepší přilnavost než kyselé minerály (křemen, živec apod.). Vzhledem k tomu, že do konstrukcí vozovek jsou používány různé druhy hornin, které ne vždy vykazují dobré přilnavostní vlastnosti, jsou vyvíjena nová asfaltová pojiva, popř. plošně používány přilnavostní přísady, které mají kompenzovat negativní vlastnosti kameniva. Také se testují nové druhy filerů, které by mohly sloužit jako vhodný ekvivalent standardně používaného fileru v podobě vápencové moučky.

Praktické zkoušky v této diplomové práci lze rozdělit do dvou fází. V první řadě byla stanovena přilnavost dle normy ČSN 73 6161 s využitím některých požadavků uvedených v ČSN EN 12697-11 (která se primárně liší jak v postupu provedení zkoušky, tak i v potřebném množství dávkovaného asfaltového pojiva pro obalení zrn kameniva), a to na zvolených typech kameniva v kombinaci s referenčními asfaltovými pojivy, přilnavostními přísadami a přídatnými filery na bázi odprašků nebo vratných filerů z výroby asfaltových směsí. Konkrétně se jednalo o kameniva z lomů Brant, Chlum, Libodřice, Markovice, Zbečno, Zbraslav a o jedno umělé kamenivo ve formě hutné vysokopeční vzduchem chlazené strusky. Asfaltová pojiva byla použita tři, a to silniční asfalt 50/70 a dvě polymerem modifikovaná pojiva PMB 25/55-60 a PMB 45/80-55. Použité filery pocházely z kamenolomů Brant, Bystřec, Chrtníky, Litice, Libochovany, Plešovice a dále byla vytvořena varianta fileru Plešovice v kombinaci s mastkem. Některé zkoušené varianty rovněž zahrnovaly pojivo zlepšené přilnavostní přísadou Impact 8000, DP500T nebo Iterlene SL/100 PLUS. Jiné vytvořené varianty kameniva obalového asfaltovým pojivem zase byly kromě klasické vizuální metody rovněž hodnoceny pomocí semi-automatické metody spočívající v digitální snímkové analýze kvalitního fotografického záznamu připraveného vzorku. V rámci stanovení

přilnavosti, byly navíc vytvořeny varianty kameniva obaleného asfaltem obsahující zestárlé asfaltové pojivo 50/70 a vybranou přilnavostní přísadu.

Z výsledných hodnot je patrné, že většina kameniv vykazovala lepší přilnavost s polymerem modifikovanými pojivy, než se základním silničním asfaltem 50/70, což je všeobecně očekávaný výsledek. Z hlediska uplatnění přilnavostních přísad lze obecně konstatovat, že nejlepších hodnot přilnavosti dosahovala kameniva se silničním asfaltem 50/70, do kterého byla přimíchána přilnavostní přísada Iterlene SL/100 PLUS. Připravené vzorky nejčastěji vykazovaly vyhovující a dobrou přilnavost. Překvapivě velmi dobrých hodnot přilnavostí bylo dosaženo u variant, které byly tvořeny kamenivem Chlum nebo Zbečno, silničním asfaltem 50/70 a přídatným filerem. Kromě jedné varianty byla přilnavost vždy vyšší než 90 %, tedy dobrá a výborná. Pro ověření další vlastností variant s filery byla vytvořena Marshallova zkušební tělesa, na kterých byl posuzován vliv filerů na odolnost asfaltové směsi vůči působení vody (souhrn uveden níže).

Zajímavé bylo porovnání vlivu dávkování asfaltového pojiva v určených variantách. Výsledky naznačují, že zvýšená dávka pojiva nemá přímou souvislost s vyšší hodnotou přilnavosti. Na základě provedených zkoušek lze konstatovat, že nižší množství asfaltového pojiva, které předepisuje evropská norma je téměř ve všech případech dostačující k dosažení srovnatelné přilnavosti, jako s vyšší dávkou asfaltového pojiva, kterou předepisuje česká norma. V některých případech byla přilnavost pouze s 3,00 % hm. asfaltového pojiva dokonce lepší, než s 3,85% hm. asfaltového pojiva.

Při porovnání přilnavostí dosažených na vzorcích obaleného kameniva s čerstvým asfaltovým pojivem (resp. pojivem v kombinaci s přilnavostní přísadou) a na vzorcích se zestárlým asfaltovým pojivem (resp. pojivem v kombinaci s přilnavostní přísadou) bylo zjištěno, že zestárlé asfaltové pojivo vykazuje přibližně srovnatelné hodnoty přilnavosti, jako v případě čerstvého asfaltového pojiva. V průměru se jednalo o rozdíl přibližně 2 až 3 %, který ale u některých vzorků vedl i o jeden stupeň horší klasifikaci přilnavosti.

V rámci testování nového způsobu vyhodnocení přilnavosti, byly vybrané vzorky podrobeny digitální snímkové analýze, která je zatím pouze ve fázi sbírání dat a experimentálního výzkumu. Pro řešení diplomové práce se tak naskytla příležitost výsledky obohatit o jiný způsob vyhodnocení přilnavostní zkoušky. Hodnoty přilnavostí získané touto metodou byly překvapivé, protože vyjma dvou vzorků vykazovaly všechny asfaltové směsi přilnavost vyšší než 90 %, a značně se tak odlišovaly od vizuálně stanovených hodnot. Nutno podotknout, že škála hodnocení úrovně přilnavosti byla

nastavena dle využití poznatků digitální snímkové analýzy v oblasti betonových konstrukcí a nutně nemusela být identická se škálou hodnocení, kterou definuje norma ČSN 73 6161. Vzájemné porovnání obou způsobů hodnocení je zatím pouze informativní a vyžaduje nasbírat větší soubory dat, které následně umožní lépe najít vzájemný vztah mezi subjektivním vizuálním hodnocením a objektivní semi-automatickou metodou. Ve většině případů proto lze fotografické vyhodnocení označit za dosud omezeně přesné, protože v reálných podmínkách je pořízení kvalitního fotografického záznamu vzorku technicky náročné a výsledky jsou překvapivě příznivější, než by se předpokládalo.

Druhou a zároveň poslední fází této diplomové práce bylo posouzení trvanlivosti, resp. odolnosti vůči účinkům vody u atypických asfaltových směsí tvořených kamenivem (čárou zrnitosti) s maximální velikostí zrna 8 mm, silničním asfaltem 160/200 a přídatným filerem. Z asfaltové směsi byla vyrobena Marshallova zkušební tělesa, na kterých byly stanoveny nedestruktivně hodnoty modulu tuhosti a byla provedena destruktivní zkoušky pevnosti v příčném tahu, nebo stanovena Marshallova stabilita a Marshallova tuhost. Všechny jmenované charakteristiky (vyjma modulu tuhosti) byly stanoveny na suchých i vodou saturovaných tělesech, jejichž výsledné hodnoty určují vliv přídatného fileru na odolnost asfaltové směsi proti účinkům vody v kombinaci s teplotou, při které jsou tělesa ve vodní lázni uložena. Rovněž byly hodnoty porovnány s výsledky přilnavostí pro získání komplexního obrazu pro určení nejvhodnějšího alternativního fileru jako náhrady (resp. rovnocenného ekvivalentu) referenční vápencové moučky, která se standardně používá. Ze získaných hodnot vyplynuly překvapivé závěry, neboť se předpokládalo, že varianta s vápencovou moučkou bude vykazovat nejlepší hodnoty (vzhledem k jejímu rozšířenému používání), ale ukázalo se, že z hlediska ztráty stability a ztráty tuhosti dosahuje nejhorších výsledků ze všech zkoušených variant. Na základě získaných charakteristik by bylo možné navrhnout filer Chrtníky, jako nejvhodnější náhradu vápencové moučky. Rovněž filery Litice a Libochovany vykazovaly dobré přilnavostní vlastnosti i odolnosti proti působení vody a lze je doporučit, jako vhodnou alternativu tradiční vápencové moučky.

Pro potvrzení správnosti získaných výsledků by bylo vhodné provést opakované testy, a to včetně využití asfaltové směsi složené z jiného typu kameniva než bylo využito pro zkoušky provedené v této diplomové práci.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Kamenolom Brant [8]	16
Obrázek 2 - Kamenolom Chlum [10]	17
Obrázek 3 - Těžený znělec [10]	18
Obrázek 4 - Kamenolom Libodřice [12]	18
Obrázek 5 - Frakce 8/11 těženého kameniva [14]	19
Obrázek 6 - Kamenolom Markovice [15]	19
Obrázek 7 - Ilustrační foto šterku z amfibolitu [17]	19
Obrázek 8 - Ilustrační foto strusky [20]	20
Obrázek 9 - Kamenolom Sýkořice [21]	21
Obrázek 10 - Frakce 8/11 těženého kameniva [21]	21
Obrázek 11 - Kamenolom Zbraslav [22]	22
Obrázek 12 - Frakce 8/11 těženého kameniva [23]	22
Obrázek 13 - Kamenolom Bystřec [24]	23
Obrázek 14 - Těžená hornina - rula [24]	23
Obrázek 15 - Kamenolom Chrtínky [45]	24
Obrázek 16 - Kamenolom Litice [46]	24
Obrázek 17 - Těžená hornina - spilit [46]	25
Obrázek 18 - Kamenolom Libochovany [47]	25
Obrázek 19 - Těžená hornina - čedič [47]	26
Obrázek 20 - Kamenolom Plešovice [48]	26
Obrázek 21 - Těžená hornina - rula frakce 0/4 [49]	26
Obrázek 22 - Celistvý mastek a jemně mletý mastek [30] [50]	27
Obrázek 23 - Rozdíl mezi adhezním a kohezním porušením [51]	29
Obrázek 24 - Mikroskopických snímků "včel" [35]	33
Obrázek 25 - Schéma vrstev [52]	35
Obrázek 26 - Závislost povrchového náboje kameniva na obsahu silikátových a alkalických látek [35]	35
Obrázek 27 - Rozdílné kontaktní úhly různých druhů kameniva [35]	37
Obrázek 28 - Závislost velikosti kontaktního úhlu na povrchovém napětí kameniva [35]	37
Obrázek 29 - Mineralogické složení kameniva [36]	39
Obrázek 30 - Závislost procentuálního obalení kameniva na době mísení testovaných kameniv [38]	41
Obrázek 31 - Schéma vrstev Peel testu [39]	42
Obrázek 32 - a) Vzorek s SBS přílnavostní přísadou; b) Vzorek bez přílnavostní přísady [7]	43
Obrázek 33 - Porušení asfaltového filmu vlivem vody [53]	46
Obrázek 34 - Připravené směsi před aplikací obnažovací vody	51
Obrázek 35 - Směs zalitá obnažovací vodou	51
Obrázek 36 - Vhodná fotografie pro snímkovou analýzu [44]	53

Obrázek 37 - Příklad vyhodnocení pomocí snímkové analýzy [59].....	53
Obrázek 38 - Schéma zatěžování tělesa; 1-Tlačná čelist, 2-Zatěžovací pásy, 3-Zkušební těleso [45].....	55
Obrázek 39 - Typy porušení (zleva): rovná podélná prasklina, deformace, kombinace ...	56

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Vlastnosti silničního asfaltu 50/70 [4]	14
Tabulka 2 - Vlastnosti silničního asfaltu PMB 25/55-60 [5]	15
Tabulka 3 - Vlastnosti silničního asfaltu PMB 45/80-55 [6]	15
Tabulka 4 - Porovnání přilnavostí pomocí počítačových programů s přísadami v různých koncentracích [40]	43
Tabulka 5 - Vyhodnocení přilnavosti s referenčním pojivem a přísadou Zycotherm a Wetfix [16].....	44
Tabulka 6 - Vyhodnocení přilnavosti s přísadami Impact a AdHere [16]	44
Tabulka 7 - Stanovení obalení kameniva [42].....	52
Tabulka 8 - Hodnocení přilnavosti kameniva Brant s referenčním pojivem	61
Tabulka 9 - Hodnocení přilnavosti kameniva Brant s pojivem a přilnavostní přísadou ...	61
Tabulka 10 - Hodnocení přilnavosti kameniva Chlum s referenčním pojivem	62
Tabulka 11 - Hodnocení přilnavosti kameniva Chlum s pojivem a přilnavostní přísadou .	62
Tabulka 12 - Hodnocení přilnavosti kameniva Chlum s pojivem a filerem.....	63
Tabulka 13 - Hodnocení přilnavosti kameniva Libodřice s referenčním pojivem	64
Tabulka 14 - Hodnocení přilnavosti kameniva Libodřice s pojivem a přilnavostní přísadou	64
Tabulka 15 - Hodnocení přilnavosti kameniva Markovice s referenčním pojivem	65
Tabulka 16 - Hodnocení přilnavosti kameniva Markovice s pojivem a přilnavostní přísadou	65
Tabulka 17 - Hodnocení přilnavosti kameniva Strusky DESTRO s referenčním pojivem .	66
Tabulka 18 - Hodnocení přilnavosti kameniva Strusky DESTRO s pojivem a přilnavostní přísadou.....	67
Tabulka 19 - Hodnocení přilnavosti kameniva Zbečno s referenčním pojivem.....	68
Tabulka 20 - Hodnocení přilnavosti kameniva Zbečno s pojivem a přilnavostní přísadou	68
Tabulka 21 - Hodnocení přilnavosti kameniva Zbečno s pojivem a filerem	68
Tabulka 22 - Hodnocení přilnavosti kameniva Zbraslav s referenčním pojivem	69
Tabulka 23 - Hodnocení přilnavosti kameniva Zbraslav s pojivem a přilnavostní přísadou	70
Tabulka 24 - Porovnání vizuálního a fotografického hodnocení přilnavosti u kameniva Brant.....	71
Tabulka 25 - Porovnání vizuálního a fotografického hodnocení přilnavosti u kameniva Chlum	72
Tabulka 26 - Porovnání vizuálního a fotografického hodnocení přilnavosti u kameniva Libodřice	72
Tabulka 27 - Porovnání vizuálního a fotografického hodnocení přilnavosti u kameniva Markovice	72
Tabulka 28 - Porovnání vizuálního a fotografického hodnocení přilnavosti u Strusky	73

Tabulka 29 - Porovnání vizuálního a fotografického hodnocení přilnavosti u kameniva Zbečno	73
Tabulka 30 - Porovnání vizuálního a fotografického hodnocení přilnavosti u kameniva Zbraslav	74

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Srovnání tuhostí vzorků s filery.....	75
Graf 2 - Srovnání hodnot ITSR na vzorcích s filery.....	76
Graf 3 - Srovnání hodnot ztráty Marshallovy stability na vzorcích s filery.....	77
Graf 4 - Porovnání mezerovitostí suchých a saturovaných vzorků.....	78
Graf 5 - Srovnání hodnot ztrát tuhostí na vzorcích s filery	78
Graf 6 - Posouzení odolnosti vůči působení vody	79
Graf 7 - Srovnání výsledků zkoušky přilnavosti s MS_{ratio} v %	80

SEZNAM LITERATURY

- [1] HÝZL, P. *Praktické aplikace v pozemních komunikacích - modul 6: Asfaltové směsi*. [Online]. 2006. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/-%20-%20P%C5%99edm%C4%9Bty%20dle%20semestru%20-%20-%20-6-semester/-%20BM02%20-%20Pozemni%20komunikace%20II/Prednasky/T%C3%A9ma%207%20text%20-%20Asfaltov%C3%A9%20sm%C4%9Bsi.pdf>.
- [2] BUREŠ, P., CIHLÁŘOVÁ, D., PCHÁLKOVÁ, V., ŘEZÁČ, M., SEIDLER, T. *Pozemní komunikace - navrhování a stavba*. [Online]. 2013. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/67974433-Fast-vs-b-technicka-univerzita-ostrava-fakulta-stavebni-pozemni-komunikace-navrhovani-a-stavba.html>.
- [3] MONDSCHHEIN, P. *Asfaltové směsi 1/2*. Praha 6 : Silniční stavby 2, Přednáška č. 4, 2011.
- [4] Silniční asfalt 50/70. In: *ORLEN Asfalt*. [Online]. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: <https://www.orlen-asfalt.cz/CS/NabidkaPolsko/SilnicniAsfalty/Stranky/Silnicni-asfalt-5070.aspx>.
- [5] ORBITON 25/55-60. In: *ORLEN Asfalt*. [Online]. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: <https://www.orlen-asfalt.cz/CS/NabidkaPolsko/ModifikovaneAsfalty/Stranky/ORBITION-2555-60.aspx>.
- [6] ORBITON 45/80-55. In: *ORLEN Asfalt*. [Online]. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: <https://www.orlen-asfalt.cz/CS/NabidkaPolsko/ModifikovaneAsfalty/Stranky/ORBITION-4580-55.aspx>.
- [7] KAMENIVO. In: *geologie.vsb.cz*. [Online]. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/kamenivo.html>.
- [8] Kamenolom Brant. In: *Froněk, spol. s.r.o.* [Online]. 2018. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: https://www.fronek.cz/fileadmin/_processed_/e/f/csm_main_23d71cdab4.jpg
- [9] ZÍMA, J. *Geologická dokumentace lomu BRANT*. Rakovník : GEOLOGICKÉ SLUŽBY s.r.o., 2015.
- [10] Provozovna Chlum. In: *EUROVIA kamenolomy, a.s.* [Online]. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: <http://www.euroviakamenolomy.cz/images/fotogalerie/velke/100.jpg>.

- [11] ZPRÁVA č. CL1/0789/15 o počáteční zkoušce typu (ITT) kameniva z lokality Chlum. Praha 4 : Centrální laboratoř, U Michalského lesa 370, 140 00 Praha 4 - Krč, 2015.
- [12] Libodřice. In: *Sběratel nerostů*. [Online]. 2016. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: <https://sberatelnerostu.cz/wp-content/gallery/fotogalerie-lokalit/Libod%C5%99ice-1.jpg>.
- [13] *Aktualizace Pasportizace lomů přírodního kameniva ČR - Zakázka Ředitelství silnic a dálnic ČR č.01KV-000982*. Praha : Česká geologická služba, 2018. ISPROFIN/ ISPROFOND: 500 115 0001.
- [14] Fotografie základních frakcí drceného kameniva. In: *ČESKOMORAVSKÝ ŠTĚRK*. [Online]. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: https://www.heidelbergcement.cz/sites/default/files/styles/hc_asset_image_full/public/assets/images/belkvzornik2rady.jpg?itok=lbMRfNw1.
- [15] Markovice. In: *Sběratel nerostů*. [Online]. 2016. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: <https://sberatelnerostu.cz/wp-content/gallery/fotogalerie-lokalit/M.jpg>.
- [16] VALENTOVÁ, T., ALTMAN, J., VALENTIN, J. Posouzení vlivu vybraných přílnavostních přísad včetně jejich teplotní stability. [Online]. 2015. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: http://www.cesti.cz/technicke_listy/tl2015/2015_WP1_TL1_1_7.pdf.
- [17] Amfibolit štěrk pr. 16-32mm - vrecko 25 kg. In: *Stonetra*. [Online]. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: <https://www.stonetra.cz/produkty/amfibolit-strk-pr--16-32mm-vrecko-25-kg/>.
- [18] VACKOVÁ, P., VALENTIN, J., KOTOUŠOVÁ, A. *Využití umělého kameniva z vysokopecní strusky při výrobě asfaltových směsí; Výzkumná zpráva za rok 2017*. Praha : ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb, 2017. SGS č. SGS17/060/OHK1/1T/11.
- [19] *Protokol o zkouškách kameniva*. Hořice : Zkušebna kamene a kameniva, s.r.o., Husova 675, 508 01 Hořice, 2018.
- [20] Struska 8-16 mm. In: *ELKA kámen*. [Online]. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: https://www.obchodskameny.cz/289-large_default/struska-8-16.jpg.

- [21] Lom Sýkořice. In: *KÁMEN Zbraslav*. [Online]. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: https://kamenzbraslav.cz/wp-content/uploads/2017/05/IMG_4200-web.jpg.
- [22] NOVÁK, D. Kámen Zbraslav koupil od Rakušanů jeho ředitel. In: *E15.cz*. [Online]. 8. 4. 2015. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/kamen-zbraslav-koupil-od-rakusanu-jeho-reditel-1178609>.
- [23] Frakce 8/11 Horninová směs. In: *KÁMEN Zbraslav*. [Online]. 2017. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: <https://kamenzbraslav.cz/wp-content/uploads/2017/05/produkty-zb-426-2500x1875.jpg>.
- [24] Provozovna Bystřec. In: *EUROVIA Kamenolomy, a.s.* [Online]. [Citace: 2019-11-4]. Dostupné z: http://www.euroviakamenolomy.cz/provozovny_detail.aspx?strediska_id=1570.
- [25] ZPRÁVA č. CL1/0714/15 o počáteční zkoušce typu (ITT) kameniva z lokality Bystřec. Praha 4 : Centrální laboratoř, U Michelského lesa 370, 140 00 Praha 4-Krč, 2015.
- [26] ZPRÁVA č. CL1/0568/10 o ročních zkouškách kameniva z lokality Chrtníky. Praha 9 : Centrální laboratoř, Nedokončená 1332, 198 00 Praha 9-Kyje, 2018.
- [27] ZPRÁVA č. CL1/0569/18 o ročních zkouškách kameniva z lokality Litice. Praha : Centrální laboratoř, Nedokončená 1332, 198 00 Praha 9-Kyje, 2018.
- [28] ZPRÁVA č. CL1/0689/18 o ročních zkouškách kameniva z lokality Libochovany. Praha : Centrální laboratoř, Nedokončená 1332, 198 00 Praha 9-Kyje, 2018.
- [29] PROTOKOL č. A 020-019861 o počátečních zkouškách typu výrobku. České Budějovice : Technický a zkušební ústav Praha, s.p., pobočka České Budějovice, 2002.
- [30] Mastek. In: *Wikipedie*. [Online]. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mastek>.
- [31] TĚHNÍK, V., NEČAS, R., KUBÁTOVÁ, D. *Vápenec jako základní kámen maltovin*. [Online]. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z: <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/uploads.mangoweb.org/sharedprod/svcement.cz/uploads/2016/07/sd2008-prednaska-vt-vapence.pdf>.

- [32] Lignin. In: *Wikipedie*. [Online]. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Lignin>.
- [33] 1.0 antistripping agents iterlene. In: *ITERCHIMICA S.r.l.* [Online]. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z: http://bavcompany.ru/upload/iblock/ff0/iterlene_sl100plus_2018.pdf.
- [34] *Safety Data Sheet 00.00.000.21 - ITERLENE SL/100 PLUS*. Suisio, Italia : Iterchimica S.r.l., 2018.
- [35] BAHIA, H., HANZ, A., KANITPONG, K., WEN, H. *Test Method to Determine Aggregate/Asphalt Adhesion Properties and Potential Moisture Damage*. Medison : Winsconsin Highway Research Program, University of Wisconsin - Madison, 2007. SPR # 0092-05-12.
- [36] HEFER, A., LITTLE, D. *Adhesion In Bitumen-Aggregate Systems and Quantification Of The Effects Of Water On The Adhesive Bond* . Alexandria, Texas : International Center for Aggregates Research and Aggregates Foundation for Technology, 2005. Project No. 400641.
- [37] ZHANG, J., APEAGYEI, A.K., AIREY, G.D., GRENFELL, J.R.A. *Influence of aggregate mineralogical composition on water resistance of aggregate-bitumen adhesion*. [Online]. 29. 6. 2015. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143749615000913>.
- [38] Technical bulletin - Active and passive adhesion. In: *Nouryon*. [Online]. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z: <https://surfacechemistry.nouryon.com/SiteAssets/pdfs/brochure-asphalt-adhesion-promoters.pdf>.
- [39] PASANDÍN, A.R., PÉREZ, I. *The influence of the mineral filler on the adhesion between aggregates and bitumen*. [Online]. 21. 1. 2015. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143749615000068>.
- [40] CUI, S.,BLACKMAN, B.R.K., KINLOCH, A.J., TAYLOR, A.C. *Durability of asphalt mixtures: Effect of aggregate type and adhesion promoters*. [Online]. 22. 5. 2014. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143749614001110>.

- [41] NAZIRIZAD, M., KAVUSSI, A., ABDI, A. *Evaluation of the effects of anti-stripping agents on the performance of asphalt mixtures*. [Online]. 27. 3. 2015. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815002718>.
- [42] ČSN EN 1744 - 4 *Zkoušení chemických vlastností kameniva - Část 4: Stanovení vitlivosti na vodu filerů pro asfaltové směsi*. Praha : Český normalizační institut, 2006. ICS 91.100.15.
- [43] ČSN 73 6161 - *Stanovení přilnavosti asfaltových pojiv ke kamenivu*. Praha: Český normalizační institut, 2000. ICS 75.140; 91.100.50; 93.080.20 .
- [44] ČSN EN 12697 - 11 *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 11: Stanovení afinity mezi pojivem a kamenivem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví , 2012. ICS 93.080.20.
- [45] TREJBAL, J., NEŽERKA, V., VALENTIN, J., VALENTOVÁ, T. *Stanovení přilnavosti asfaltových pojiv ke kamenivu pomocí semi-automatických metod*. Praha : ČVUT v Praze . projekt 18-13830S a SGS16/201/OHK1/3T/11.
- [46] ČSN EN 12697 - 23 *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu*. Praha: Český normalizační institut, 2005. ICS 93.080.20.
- [47] ČSN EN 12697 - 12 *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. ICS 93.080.20.
- [48] ČSN EN 12607 - 1 *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení odolnosti proti stárnutí vlivem tepla a vzduchu - Část 1: Metoda RTFOT*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. ICS 75.140; 90.100.50.
- [49] KING, H.M. *Hornfels*. [Online]. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z: <https://geology.com/rocks/hornfels.shtml>.
- [50] Provozovna Chrtníky. In: *EUROVIA Kamenolomy, a.s.* [Online]. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z: http://www.euroviakamenolomy.cz/provozovny_detail.aspx?strediska_id=4310.

- [51] Provozovna Litice. In: *EUROVIA Kamenolomy, a.s.* [Online]. [Citace: 2019-12-12].
Dostupné z:
http://www.euroviakamenolomy.cz/provozovny_detail.aspx?strediska_id=4420.
- [52] Provozovna Libochovany. In: *EUROVIA Kamenolomy, a.s.* [Online]. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z:
http://www.euroviakamenolomy.cz/provozovny_detail.aspx?strediska_id=3360.
- [53] Lomy: Plešovice. In: *KÁMEN A PÍSEK spol. s.r.o.* [Online]. [Citace: 2019-12-12].
Dostupné z:
[http://www.kamen-ck.cz/web/wp-content/uploads/photo-gallery/lomy/plesovice/blob%20\(2\).jpg](http://www.kamen-ck.cz/web/wp-content/uploads/photo-gallery/lomy/plesovice/blob%20(2).jpg).
- [54] Produkty: Plešovice 0/4. In: *KÁMEN A PÍSEK spol. s.r.o.* [Online]. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z:
<http://www.kamen-ck.cz/web/wp-content/uploads/photo-gallery/frakce/plesovice/0-4/blob.jpg>.
- [55] Mastek Klouzek jemně mletý KT1 - 1 kg, talek. In: *FICHEMA.* [Online]. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z:
https://fichema.cz/391-large_default/mstek-klouzek-jemne-mlety-kt1-1-kg-talek.jpg.
- [56] TAREFDER, R.A., ZAMAN, A.M. *Nanoscale Evaluation of Moisture Damage in Polymer Modified Asphalts.* [Online]. 2009. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z:
<https://ascelibrary.org/cms/attachment/5249809d-b74e-4336-ba05-49b60cc1e288/1.gif>.
- [57] LITTLE, D.N., ALLEN D.H., BHASIN A. *Chemical and Mechanical Processes Influencing Adhesion and Moisture Damage in Hot Mix Asphalt Pavements.* [Online]. 28. 9. 2017. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z:
https://media.springernature.com/original/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-3-319-58443-0_4/MediaObjects/330652_1_En_4_Fig20_HTML.gif.
- [58] WELDEGIORGIS, M.T., TAREFDER, R.A. *Towards a Mechanistic Understanding of Moisture Damage in Asphalt Concrete.* [Online]. [Citace: 2019-12-12].
Dostupné z:
<https://ascelibrary.org/cms/attachment/b7958b4e-1ccb-491d-aca7-bf51a89d59b1/figure5.jpg>.
- [59] KULASH, D.J. *The Strategic Highway Research Program (SHRP).* [Online]. 2015. [Citace: 2019-12-12]. Dostupné z:
<http://www.trb.org/StrategicHighwayResearchProgram2SHRP2/Blank2.aspx>

- [60] TREJBAL, J., NEŽERKA, V. *Report on experimental analysis of adhesion between bituminous binder and mineral aggregate*. Praha : Katedra mechaniky, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2019.
- [61] *Safety Data Sheet No. 1907/2006 - RHODOVAL DP 500*. London, England: Rhodia UK Limited. 2011

PŘÍLOHA

1. TABULKA PŘILNAVOSTÍ S POJIVEM A POJIVEM KOMBINOVANÝM S PŘILNAVOSTNÍ PŘÍSAĐOU:

KAMENIVO	POJIVO	DÁVKA POJIVA	HODNOCENÍ		
			VIZUÁLNÍ	%	CELKOVÉ
BRANT	50/70	3,85	D	70	Nevyhovující
	PMB 25/55-60	3,85	C+	83	Vyhovující
	50/70 + DP500T	3,85	B-C	85	Vyhovující
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	B+	92	Dobrá
CHLUM	50/70	3,85	C-D	75	Nevyhovující
	PMB 25/55-60	3,85	B-C	85	Vyhovující
	50/70 + DP500T	3,85	C-	77	Nevyhovující
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	C-	78	Vyhovující
LIBODŘICE	50/70	3,00	B-C	85	Vyhovující
		3,85	C	80	Vyhovující
	PMB 25/55-60	3,00	A-	97	Výborná
		3,85	A-	97	Výborná
	PMB 45/80-55	3,85	B-C	85	Vyhovující
	50/70 + Impact 8000	3,00	A-B	95	Dobrá
		3,85	B+	92	Dobrá
	50/70 + DP500T	3,00	B-C	85	Vyhovující
		3,85	C	80	Vyhovující
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,00	B	90	Dobrá
3,85		B+	92	Dobrá	
MARKOVICE	50/70	3,00	D	70	Nevyhovující
		3,85	C	80	Vyhovující
	PMB 25/55-60	3,85	A-B	95	Výborná
		3,00	C	80	Vyhovující
	PMB 45/80-55	3,85	C+	83	Vyhovující
		3,00	A-B	94	Dobrá
	50/70 + Impact 8000	3,85	A-B	94	Dobrá
		3,00	A-	98	Výborná
50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	A-	98	Výborná	
	3,00	A-	98	Výborná	
STRUSKA	50/70	3,85	E-	57	Nevyhovující
	PMB 25/55-60	3,85	B	90	Dobrá
	PMB 45/80-55	3,85	C-D	75	Nevyhovující
		4,63	C-D	75	Nevyhovující
	50/70 + Impact 8000	3,85	C	80	Vyhovující
		4,63	C+	83	Vyhovující

	50/70 + DP500T	3,85	C	80	Vyhovující
		4,63	B-C	86	Vyhovující
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	B+	92	Dobrá
		4,63	B+	92	Dobrá
ZBEČNO	50/70	3,00	C	80	Vyhovující
		3,85	C-	77	Vyhovující
	PMB 25/55-60	3,85	B-	87	Dobrá
	PMB 45/80-55	3,00	C+	83	Vyhovující
		3,85	C+	83	Vyhovující
	50/70 + Impact 8000	3,00	B-C	86	Vyhovující
		3,85	B-C	86	Vyhovující
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,00	B-	88	Vyhovující
3,85		B-	88	Vyhovující	
ZBRASLAV	50/70	3,00	C	80	Vyhovující
		3,85	C-	77	Vyhovující
	PMB 25/55-60	3,85	B-C	85	Dobrá
	50/70 + Impact 8000	3,85	B-C	85	Vyhovující
		50/70 + DP500T	3,00	C+	83
	3,85		C	80	Vyhovující
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,00	B-	88	Vyhovující
		3,85	B-C	85	Vyhovující

2. TABULKA PŘILNAVOSTÍ SE ZESTÁRLÝM POJIVEM:

KAMENIVO	POJIVO	DÁVKA POJIVA	HODNOCENÍ		
			VIZUÁLNÍ	%	CELKOVÉ
CHLUM	50/70	3,85	C-D	75	Nevyhovující
	PMB 25/55-60	3,85	C	80	Vyhovující
	50/70 + DP500T	3,85	C-D	75	Nevyhovující
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	C-	78	Vyhovující
LIBODŘICE	50/70	3,85	C	80	Vyhovující
	PMB 25/55-60	3,85	B+	95	Výborná
	PMB 45/80-55	3,85	B-C	85	Vyhovující
	50/70 + Impact 8000	3,85	B	90	Dobrá
	50/70 + DP500T	3,85	C	80	Vyhovující
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	B	90	Dobrá
MARKOVICE	50/70	3,85	C-	78	Vyhovující
	PMB 25/55-60	3,85	B+	93	Dobrá
	PMB 45/80-55	3,85	B-C	88	Vyhovující
	50/70 + Impact 8000	3,85	B	90	Dobrá
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	A-B	95	Výborná
STRUSKA	50/70	3,85	E-	57	Nevyhovující
	PMB 25/55-60	3,85	B-	87	Dobrá
	PMB 45/80-55	3,85	C-D	75	Nevyhovující
	50/70 + Impact 8000	3,85	C-	77	Vyhovující
	50/70 + DP500T	3,85	C-	78	Vyhovující
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	B	90	Dobrá
ZBEČNO	50/70	3,85	C-D	75	Nevyhovující
	PMB 25/55-60	3,85	B-	87	Dobrá
	PMB 45/80-55	3,85	B-C	85	Vyhovující
	50/70 + Impact 8000	3,85	C+	83	Vyhovující
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	B-C	85	Vyhovující

ZBRASLAV	50/70	3,85	C-D	75	Nevyhovující
	PMB 25/55-60	3,85	B-C	85	Dobrá
	50/70 + Impact 8000	3,85	C+	83	Vyhovující
	50/70 + DP500T	3,85	C	80	Vyhovující
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	B-C	85	Vyhovující

3. TABULKA PŘILNAVOSTÍ VARIANT S FILERY:

KAMENIVO	FILER	DÁVKA POJIVA 50/70	HODNOCENÍ		
			VIZUÁLNÍ	%	CELKOVÉ
CHLUM	Brant	3,85	A-B	95	Dobrá
	Bystřec		A-	97	Výborná
	Chrtníky		A-	98	Výborná
	Litice		A	100	Výborná
	Libochovany		A-	97	Výborná
	Plešovice		B-C	86	Vyhovující
	Plešovice + mastek		A-	97	Výborná
	Vápencová moučka		B	90	Dobrá
ZBEČNO	Brant	3,85	A-B	94	Dobrá
	Bystřec		A-	96	Dobrá
	Chrtníky		A	100	Výborná
	Litice		A	100	Výborná
	Libochovany		A	100	Výborná
	Plešovice		A-	96	Dobrá
	Plešovice + mastek		A	100	Výborná
	Vápencová moučka		A-	97	Výborná

4. TABULKA POROVNÁNÍ HODNOT Z VIZUÁLNÍHO A FOTOGRAFICKÉHO HODNOCENÍ:

KAMENIVO	NÁZEV POJIVA (PŘÍSADY/FILERU)	DÁVKA POJIVA [%]	HODNOCENÍ %	
			VIZUÁLNÍ	FOTOGRAFICKÉ
BRANT	50/70	3,85	70	54,3 (90,1)
CHLUM	50/70	3,85	75	93,0 (91,6)
	50/70 + DP500T	3,85	75	93,9 (98,7)
	50/70 + Plešovice - mastek	3,85	97	97,2
	50/70 + Brant	3,85	95	96,7
	50/70 + Vápenková moučka	3,85	90	93,7
	50/70 + Plešovice	3,85	86	97,0
	LIBODŘICE	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,00	90
		3,85	92	*
MARKOVICE	PMB 45/80-55	3,00	80	97,1
		3,85	83	96,5
	50/70 + Impact 8000	3,00	94	97,9
		3,85	94	98,2
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,00	98	97,0
	3,85	98	98,2	
STRUSKA	50/70	3,85	57	78,6
	PMB 25/55-60	3,85	90	92,4
	50/70 + Impact 8000	3,85	80	98,0
		4,63	83	95,7
	50/70 + DP500T	3,85	80	95,9
		4,63	86	95,6
	50/70 + Iterlene SL/100 PLUS	3,85	92	96,8
	4,63	92	97,7	
ZBEČNO	PMB 45/80-55	3,00	83	94,4
		3,85	83	97,0
	50/70 + Impact 8000	3,00	86	97,0
		3,85	86	97,4
	50/70 + Plešovice - mastek	3,85	100	96,4
	50/70 + Brant	3,85	94	94,0
	3,85	97	93,9	
	50/70 + Vápenková moučka			

	50/70 + Plešovice	3,85	96	96,2
ZBRASLAV	50/70	3,00	80	94,2
		3,85	77	97,0
	PMB 25/55-60	3,85	85	95,2
	50/70 + Impact 8000	3,85	85	96,3
	50/70 + DP500T	3,00	83	93,6 (93,5)
		3,85	80	98,0 (95,2)

Směs	Těleso	Pojivo	Průměr (Diameter)					Výška (Height)					Objem	Objemová hmotnost	Hmotnost	Obsah asfaltu	Compaction and temperature	
			Ø					h					V	r _{vm}	m	[%]		
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	průměr	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	výška	[cm ³]	[g.cm ⁻³]	[g]			
VÁPENCOVÁ MOUČKA	A	160/220	101,89	101,98	102,15	101,71	101,9	60,81	60,97	60,50	60,55	60,7	495,60	2,318	2,317	1148,8		2X25 / 145°C
	B		101,72	101,86	101,81	101,80	101,8	60,74	60,31	60,36	60,82	60,6	493,07	2,322		1145,0		2X25 / 145°C
	C		101,72	101,81	101,83	101,82	101,8	59,64	59,77	59,38	59,08	59,5	484,17	2,367		1146,1		2X25 / 145°C
	D		101,95	101,90	101,90	102,07	102,0	61,40	60,85	61,25	61,50	61,3	500,25	2,295		1148,2		2X25 / 145°C
	E		103,01	103,07	103,20	103,17	103,1	60,5	59,71	59,76	60,95	60,2	503,15	2,283		1148,5		2X25 / 145°C
	F		101,85	101,75	101,94	101,70	101,8	61,56	61,16	61,26	61,71	61,4	500,23	2,294		1147,3		2X25 / 145°C

Těleso	Výška	Průměr	Síla porušení tělesa			Příčná deformace			Pevnost v příčném tahu			Poměrné přetvoření			Modul pružnosti		
	h [mm]	d [mm]	F _{dry} [kN]	F _{ČSN} [kN]	F _{AASHTO} [kN]	Δ _{dry} [mm]	Δ _{ČSN} [mm]	Δ _{AASHTO} [mm]	R _{dry} [MPa]	R _{ČSN} [MPa]	R _{AASHTO} [MPa]	ε _{dry} [%]	ε _{ČSN} [%]	ε _{AASHTO} [%]	E _{dry} [MPa]	E _{ČSN} [MPa]	E _{AASHTO} [MPa]
A	60,7	101,9	10,66			3,85			1,10			7,92			29,15		
B	60,6	101,8	10,71			4,32			1,11			8,90			29,22		
C	59,5	101,8	12,32			3,33			1,30			6,86			29,76		
D	61,3	102,0		7,07			5,87			0,72			12,08			12,31	
E	60,2	103,1		7,36			5,69			0,75			11,57			12,52	
F	61,4	101,8		7,11			5,69			0,72			11,72			12,28	

Směs	Těleso	Pojivo	Průměr (Diameter)					Výška (Height)					Objem	Objemová hmotnost	Hmotnost	Obsah asfaltu	Compaction and temperature	
			Ø					h					V	r _{vm}	m	[%]		
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	průměr	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	výška	[cm ³]	[g.cm ⁻³]	[g]			
PLEŠOVICE	A	160/220	101,19	101,21	101,26	101,23	101,2	59,87	60,18	59,54	59,63	59,8	481,46	2,391	2,335	1151,1		2X25 / 145°C
	B		101,37	101,28	101,29	101,36	101,3	59,02	59,20	59,26	59,23	59,2	477,37	2,407		1149,1		2X25 / 145°C
	C		101,81	101,88	101,89	101,95	101,9	60,13	60,01	59,69	59,42	59,8	487,82	2,353		1147,6		2X25 / 145°C
	D		101,82	101,75	101,77	101,73	101,8	63,09	62,82	63,17	63,46	63,1	513,75	2,258		1160,0		2X25 / 145°C
	E		101,59	101,68	101,62	101,69	101,6	63,11	62,12	62,2	62,69	62,5	507,60	2,264		1149,4		2X25 / 145°C
	F		102,25	102,26	102,05	102,00	102,1	61,72	62,16	62,29	61,81	62,0	508,17	2,261		1149,0		2X25 / 145°C

Těleso	Výška	Průměr	Síla porušení tělesa			Příčná deformace			Pevnost v příčném tahu			Poměrné přetvoření			Modul pružnosti		
	h [mm]	d [mm]	F _{dry} [kN]	F _{ČSN} [kN]	F _{AASHTO} [kN]	Δ _{dry} [mm]	Δ _{ČSN} [mm]	Δ _{AASHTO} [mm]	R _{dry} [MPa]	R _{ČSN} [MPa]	R _{AASHTO} [MPa]	ε _{dry} [%]	ε _{ČSN} [%]	ε _{AASHTO} [%]	E _{dry} [MPa]	E _{ČSN} [MPa]	E _{AASHTO} [MPa]
A	59,8	101,2	12,20			3,14			1,28			6,51			38,13		
B	59,2	101,3	11,75			3,22			1,25			6,67			38,54		
C	59,8	101,9	11,58			3,05			1,21			6,28			38,13		
D	63,1	101,8		7,87			4,54			0,78			9,36			15,64	
E	62,5	101,6		6,96			4,69			0,70			9,68			15,79	
F	62,0	102,1		7,17			4,23			0,72			8,69			15,92	

Směs	Těleso	Pojivo	Průměr (Diameter)					Výška (Height)					Objem	Objemová hmotnost	Hmotnost	Obsah asfaltu	Compaction and temperature	
			Ø					h					V	r _{vm}	m			
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	průměr	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	výška	[cm ³]	[g.cm ⁻³]	[g]			
PLEŠOVICE + MASTEK	A	160/220	101,89	101,93	102,01	101,99	102,0	58,48	58,38	59,17	59,14	58,8	480,18	2,383	2,403	1144,4		2X25 / 145°C
	B		101,95	102,10	101,88	102,07	102,0	58,41	58,57	58,82	58,48	58,6	478,78	2,397		1147,6		2X25 / 145°C
	C		102,00	101,93	101,87	101,96	101,9	58,85	58,80	59,21	59,46	59,1	482,39	2,378		1147,1		2X25 / 145°C
	D		102,32	102,25	102,27	102,21	102,3	61,56	59,84	59,90	60,45	60,4	496,60	2,401		1192,5		2X25 / 145°C
	E		101,83	101,79	101,75	101,74	101,8	59,65	59,54	59,16	59,15	59,4	483,25	2,454		1186,0		2X25 / 145°C
	F		101,65	101,84	101,78	101,81	101,8	60,56	60,07	59,76	60,44	60,2	489,95	2,385		1168,4		2X25 / 145°C

Těleso	Výška	Průměr	Síla porušení tělesa			Příčná deformace			Pevnost v příčném tahu			Poměrné přetvoření			Modul pružnosti		
	h	d	F _{dry}	F _{ČSN}	F _{AASHTO}	Δ _{dry}	Δ _{ČSN}	Δ _{AASHTO}	R _{dry}	R _{ČSN}	R _{AASHTO}	ε _{dry}	ε _{ČSN}	ε _{AASHTO}	E _{dry}	E _{ČSN}	E _{AASHTO}
	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[%]	[%]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
A	58,8	102,0	11,08			3,27			1,18			6,73			36,63		
B	58,6	102,0	11,24			3,07			1,20			6,31			36,76		
C	59,1	101,9	11,12			3,04			1,18			6,25			36,45		
D	60,4	102,3		11,08			5,96		1,14				12,22			20,05	
E	59,4	101,8		11,53			6,00		1,21				12,37			20,41	
F	60,2	101,8		11,11			4,85		1,15				10,00			20,12	

Směs	Těleso	Pojivo	Průměr (Diameter)					Výška (Height)					Objem	Objemová hmotnost	Hmotnost	Obsah asfaltu	Compaction and temperature	
			Ø					h					V	r _{vm}	m			
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	průměr	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	výška	[cm ³]	[g.cm ⁻³]	[g]			
BRANT	A	160/220	101,98	102,04	102,23	101,93	102,0	60,12	60,39	59,82	60,17	60,1	491,93	2,336	2,344	1149,0		2X25 / 145°C
	B		102,11	102,15	102,30	101,87	102,1	59,60	59,78	59,95	59,91	59,8	489,95	2,343		1148,1		2X25 / 145°C
	C		101,81	101,98	101,99	101,89	101,9	58,98	59,18	59,43	59,52	59,3	483,78	2,362		1142,8		2X25 / 145°C
	D		101,93	102,08	103,17	101,81	102,2	59,90	59,47	59,91	60,18	59,9	491,75	2,335		1148,2		2X25 / 145°C
	E		102,48	102,64	102,61	102,47	102,6	58,18	58,7	58,67	58,78	58,6	484,07	2,344		1134,6		2X25 / 145°C
	F		101,92	102,07	101,99	102,39	102,1	59,52	59,59	59,66	59,8	59,6	488,44	2,359		1152,0		2X25 / 145°C

Těleso	Výška	Průměr	Síla porušení tělesa			Příčná deformace			Pevnost v příčném tahu			Poměrné přetvoření			Modul pružnosti		
	h	d	F _{dry}	F _{ČSN}	F _{AASHTO}	Δ _{dry}	Δ _{ČSN}	Δ _{AASHTO}	R _{dry}	R _{ČSN}	R _{AASHTO}	ε _{dry}	ε _{ČSN}	ε _{AASHTO}	E _{dry}	E _{ČSN}	E _{AASHTO}
	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[%]	[%]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
A	60,1	102,0	12,70			3,13			1,32			6,43			33,77		
B	59,8	102,1	13,24			4,14			1,38			8,50			33,95		
C	59,3	101,9	13,73			4,53			1,45			9,32			34,26		
D	59,9	102,2		8,60			4,25			0,89			8,72			21,76	
E	58,6	102,6		8,53			4,03			0,90			8,24			22,24	
F	59,6	102,1		8,97			3,82			0,94			7,85			21,84	

Směs	Těleso	Pojivo	Průměr (Diameter)					Výška (Height)					Objem V	Objemová hmotnost r _{vm}	Hmotnost m	Obsah asfaltu [%]	Compaction and temperature	
			Ø					h										
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	průměr	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	výška	[cm ³]	[g.cm ⁻³]	[g]	[%]		
LIBOCHOVANY	A	160/220	103,22	103,06	103,19	103,09	103,1	58,06	58,25	57,92	57,72	58,0	484,68	2,369	2,393	1148,4		2X25 / 145°C
	B		101,98	101,78	102,03	101,94	101,9	58,97	59,48	59,36	58,95	59,2	483,21	2,371		1145,7		2X25 / 145°C
	C		101,90	102,11	101,88	101,70	101,9	57,29	57,88	58,31	57,53	57,8	471,15	2,420		1140,1		2X25 / 145°C
	D		101,90	101,81	101,86	101,97	101,9	58,37	57,95	57,77	58,09	58,0	473,42	2,431		1151,1		2X25 / 145°C
	E		101,97	101,95	102,06	102,07	102,0	59,75	59,09	58,94	59,22	59,3	484,46	2,371		1148,9		2X25 / 145°C
	F		101,97	101,94	102,01	102,09	102,0	60,27	59,84	59,57	59,79	59,9	489,42	2,355		1152,6		2X25 / 145°C

Těleso	Výška	Průměr	Síla porušení tělesa			Příčná deformace			Pevnost v příčném tahu			Poměrné přetvoření			Modul pružnosti		
	h	d	F _{dry}	F _{ČSN}	F _{AASHTO}	Δ _{dry}	Δ _{ČSN}	Δ _{AASHTO}	R _{dry}	R _{ČSN}	R _{AASHTO}	ε _{dry}	ε _{ČSN}	ε _{AASHTO}	E _{dry}	E _{ČSN}	E _{AASHTO}
	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[%]	[%]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
A	58,0	103,1	12,00			3,21			1,28			6,53			40,92		
B	59,2	101,9	12,41			3,17			1,31			6,52			40,09		
C	57,8	101,9	13,70			3,32			1,48			6,83			41,09		
D	58,0	101,9		11,22			4,99			1,21			10,27			20,69	
E	59,3	102,0		10,06			5,71			1,06			11,74			20,26	
F	59,9	102,0		9,89			4,98			1,03			10,24			20,06	

Směs	Těleso	Pojivo	Průměr (Diameter)					Výška (Height)					Objem V	Objemová hmotnost r _{vm}	Hmotnost m	Obsah asfaltu [%]	Compaction and temperature	
			Ø					h										
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	průměr	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	výška	[cm ³]	[g.cm ⁻³]	[g]	[%]		
CHRTNÍKY	A	160/220	102,25	102,38	102,20	102,28	102,3	58,78	58,84	58,60	58,14	58,6	481,56	2,327	2,354	1120,5		2X25 / 145°C
	B		101,88	101,87	101,91	101,87	101,9	60,87	60,16	60,15	60,42	60,4	492,61	2,342		1153,6		2X25 / 145°C
	C		101,77	101,83	101,77	101,74	101,8	60,14	59,72	59,46	59,61	59,7	486,16	2,341		1138,0		2X25 / 145°C
	D		102,01	102,35	102,30	102,24	102,2	57,36	57,43	56,88	56,47	57,0	468,30	2,377		1113,0		2X25 / 145°C
	E		102,03	101,96	102,00	102,02	102,0	57,36	57,35	57,12	56,94	57,2	467,55	2,384		1114,7		2X25 / 145°C
	F		103,12	103,16	103,26	103,19	103,2	56,01	55,42	55,09	55,23	55,4	463,75	2,391		1109,0		2X25 / 145°C

Těleso	Výška	Průměr	Síla porušení tělesa			Příčná deformace			Pevnost v příčném tahu			Poměrné přetvoření			Modul pružnosti		
	h	d	F _{dry}	F _{ČSN}	F _{AASHTO}	Δ _{dry}	Δ _{ČSN}	Δ _{AASHTO}	R _{dry}	R _{ČSN}	R _{AASHTO}	ε _{dry}	ε _{ČSN}	ε _{AASHTO}	E _{dry}	E _{ČSN}	E _{AASHTO}
	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[%]	[%]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
A	58,6	102,3	8,89			3,28			0,94			6,73			27,22		
B	60,4	101,9	8,89			3,54			0,92			7,29			26,40		
C	59,7	101,8	8,91			3,29			0,93			6,78			26,69		
D	57,0	102,2		9,65			3,79			1,05			7,78			25,85	
E	57,2	102,0		9,95			3,94			1,09			8,10			25,78	
F	55,4	103,2		9,38			4,14			1,04			8,42			26,60	

Směs	Těleso	Pojivo	Průměr (Diameter)					Výška (Height)					Objem	Objemová hmotnost	Hmotnost	Obsah asfaltu	Compaction and temperature	
			Ø					h					V	r _{vm}	m	[%]		
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	průměr	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	výška	[cm ³]	[g.cm ⁻³]	[g]			
LITICE	A	160/220	103,22	103,19	103,12	103,21	103,2	55,65	56,08	56,34	55,92	56,0	468,45	2,388	2,393	1118,7		2X25 / 145°C
	B		102,15	102,12	102,19	102,13	102,1	56,81	56,87	56,23	55,64	56,4	462,28	2,398		1108,7		2X25 / 145°C
	C		102,07	101,81	102,11	102,56	102,1	56,09	56,36	57,04	56,87	56,6	463,85	2,391		1109,0		2X25 / 145°C
	D		102,11	101,35	101,84	102,51	102,0	59,43	58,32	58,37	58,09	58,6	478,20	2,400		1147,5		2X25 / 145°C
	E		101,99	101,97	101,96	102,57	102,1	58,81	58,98	58,65	58,48	58,7	481,25	2,390		1150,4		2X25 / 145°C
	F		101,97	101,81	102,05	102,15	102,0	57,65	57,58	57,96	57,83	57,8	472,08	2,412		1138,6		2X25 / 145°C

Těleso	Výška	Průměr	Síla porušení tělesa			Příčná deformace			Pevnost v příčném tahu			Poměrné přetvoření			Modul pružnosti		
	h	d	F _{dry}	F _{ČSN}	F _{AASHTO}	Δ _{dry}	Δ _{ČSN}	Δ _{AASHTO}	R _{dry}	R _{ČSN}	R _{AASHTO}	ε _{dry}	ε _{ČSN}	ε _{AASHTO}	E _{dry}	E _{ČSN}	E _{AASHTO}
	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[%]	[%]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
A	56,0	103,2	8,17			2,78			0,90			5,65			28,48		
B	56,4	102,1	7,66			2,56			0,85			5,26			28,28		
C	56,6	102,1	7,61			2,65			0,84			5,44			28,18		
D	58,6	102,0		11,55			3,77			1,23			7,76			32,77	
E	58,7	102,1		11,49			3,57			1,22			7,33			32,67	
F	57,8	102,0		12,19			3,75			1,32			7,71			33,22	

Směs	Těleso	Pojivo	Průměr (Diameter)					Výška (Height)					Objem	Objemová hmotnost	Hmotnost	Obsah asfaltu	Compaction and temperature	
			Ø					h					V	r _{vm}	m	[%]		
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	průměr	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	výška	[cm ³]	[g.cm ⁻³]	[g]			
BYSTŘEC	A	160/220	102,29	102,32	102,25	102,41	102,3	60,16	59,7	59,80	59,26	59,7	491,31	2,326	2,330	1142,7		2X25 / 145°C
	B		103,16	103,25	103,30	103,21	103,2	58,45	58,98	59,03	58,18	58,7	491,15	2,335		1146,8		2X25 / 145°C
	C		101,94	101,95	102,01	101,95	102,0	60,40	60,04	59,30	59,98	59,9	489,54	2,329		1140,1		2X25 / 145°C
	D		102,31	102,42	102,32	102,42	102,4	57,11	58,02	57,82	58,06	57,8	475,51	2,332		1108,9		2X25 / 145°C
	E		101,92	101,91	101,93	101,98	101,9	60,34	60,87	59,76	60,91	60,5	493,69	2,327		1148,8		2X25 / 145°C
	F		102,07	101,92	102,00	101,98	102,0	58,69	58,84	59,68	59,46	59,2	483,60	2,385		1153,4		2X25 / 145°C

Těleso	Výška	Průměr	Síla porušení tělesa			Příčná deformace			Pevnost v příčném tahu			Poměrné přetvoření			Modul pružnosti		
	h	d	F _{dry}	F _{ČSN}	F _{AASHTO}	Δ _{dry}	Δ _{ČSN}	Δ _{AASHTO}	R _{dry}	R _{ČSN}	R _{AASHTO}	ε _{dry}	ε _{ČSN}	ε _{AASHTO}	E _{dry}	E _{ČSN}	E _{AASHTO}
	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[%]	[%]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
A	59,7	102,3	10,79			2,75			1,12			5,64			40,42		
B	58,7	103,2	10,49			3,01			1,10			6,12			41,16		
C	59,9	102,0	11,18			2,36			1,16			4,85			40,29		
D	57,8	102,4		9,58			4,15			1,03			8,50			23,87	
E	60,5	101,9		10,35			4,44			1,07			9,14			22,80	
F	59,2	102,0		9,88			4,47			1,04			9,19			23,30	

Směs	Síla porušení tělesa		Příčná deformace		Pevnost v příčném tahu		Poměrné přetvoření		Modul pružnosti		ITSR _{ČSN EN}
	F _{dry} [kN]	F _{ČSN} [kN]	Δ _{dry} [mm]	Δ _{ČSN} [mm]	R _{dry} [MPa]	R _{ČSN} [MPa]	ε _{dry} [%]	ε _{ČSN} [%]	E _{dry} [MPa]	E _{ČSN} [MPa]	
VÁPENCOVÁ MOUČKA	11,23	7,18	3,83	5,75	1,17	0,73	7,89	11,79	29,37	12,37	0,63
Směs	F _{dry} [kN]	F _{ČSN} [kN]	Δ _{dry} [mm]	Δ _{ČSN} [mm]	R _{dry} [MPa]	R _{ČSN} [MPa]	ε _{dry} [%]	ε _{ČSN} [%]	E _{dry} [MPa]	E _{ČSN} [MPa]	ITSR _{ČSN EN}
PLEŠOVICE	11,84	7,33	3,14	4,49	1,25	0,73	6,48	9,24	38,27	15,78	0,59
Směs	F _{dry} [kN]	F _{ČSN} [kN]	Δ _{dry} [mm]	Δ _{ČSN} [mm]	R _{dry} [MPa]	R _{ČSN} [MPa]	ε _{dry} [%]	ε _{ČSN} [%]	E _{dry} [MPa]	E _{ČSN} [MPa]	ITSR _{ČSN EN}
PLEŠOVICE + MASTEK	11,15	11,24	3,13	5,60	1,18	1,17	6,43	11,53	36,61	20,19	0,99
Směs	F _{dry} [kN]	F _{ČSN} [kN]	Δ _{dry} [mm]	Δ _{ČSN} [mm]	R _{dry} [MPa]	R _{ČSN} [MPa]	ε _{dry} [%]	ε _{ČSN} [%]	E _{dry} [MPa]	E _{ČSN} [MPa]	ITSR _{ČSN EN}
BRANT	13,22	8,70	3,93	4,03	1,38	0,91	8,09	8,27	33,99	21,95	0,66
Směs	F _{dry} [kN]	F _{ČSN} [kN]	Δ _{dry} [mm]	Δ _{ČSN} [mm]	R _{dry} [MPa]	R _{ČSN} [MPa]	ε _{dry} [%]	ε _{ČSN} [%]	E _{dry} [MPa]	E _{ČSN} [MPa]	ITSR _{ČSN EN}
LITICE	7,81	11,74	2,66	3,70	0,86	1,26	5,45	7,60	28,31	32,89	1,46
Směs	F _{dry} [kN]	F _{ČSN} [kN]	Δ _{dry} [mm]	Δ _{ČSN} [mm]	R _{dry} [MPa]	R _{ČSN} [MPa]	ε _{dry} [%]	ε _{ČSN} [%]	E _{dry} [MPa]	E _{ČSN} [MPa]	ITSR _{ČSN EN}
CHRTNÍKY	8,90	9,66	3,37	3,96	0,93	1,06	6,93	8,10	26,77	26,08	1,14
Směs	F _{dry} [kN]	F _{ČSN} [kN]	Δ _{dry} [mm]	Δ _{ČSN} [mm]	R _{dry} [MPa]	R _{ČSN} [MPa]	ε _{dry} [%]	ε _{ČSN} [%]	E _{dry} [MPa]	E _{ČSN} [MPa]	ITSR _{ČSN EN}
LIBOCHOVANY	12,70	10,39	3,23	5,23	1,36	1,10	6,63	10,75	40,70	20,34	0,81
Směs	F _{dry} [kN]	F _{ČSN} [kN]	Δ _{dry} [mm]	Δ _{ČSN} [mm]	R _{dry} [MPa]	R _{ČSN} [MPa]	ε _{dry} [%]	ε _{ČSN} [%]	E _{dry} [MPa]	E _{ČSN} [MPa]	ITSR _{ČSN EN}
BYSTŘEC	10,82	9,94	2,71	4,35	1,13	1,05	5,54	8,94	40,62	23,32	0,93

6. STANOVENÍ MARSHALLOVY STABILITY A TUHOSTI

Asfaltová směs	Pojivo	Objemová hmotnost	Max.objem. hm.	Mezerovitost	Maximální síla		Stabilita SM		Přetvoření PM		Marshallova tuhost		Modul tuhosti @ 15°C		
		(g/cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(kN)	(kN)	(%)	(0,1 mm)	(kN/mm)	(MPa)	(%)				
VÁPENCOVÁ MOUČKA	160/220	2,461	2,605	5,5%	7,9	8,0	8,7	9,0	24	22	0,36	0,41	4 576	4 793	91
		2,462		5,5%	7,9		9,3		21		0,44		4 808		
		2,462		5,5%	8,2		9,1		21		0,43		4 995		
		2,475	5,0%	5,9	6,5	33	0,20	4 463							
		2,482	2,605	4,7%	5,9	5,8	6,4	6,3	35	33	0,18	0,19	4 328	4 339	
		2,477	4,9%	5,6	6,0	32	0,19	4 228							
BRANT	160/220	2,460	2,592	5,1%	7,4	7,5	7,9	8,1	25	26	0,32	0,32	3 745	3 890	109
		2,467		4,8%	7,9		8,7		26		0,33		4 184		
		2,461		5,0%	7,1		7,8		26		0,30		3 742		
		2,469	4,8%	5,6	6,1	35	0,17	4 424							
		2,463	2,592	5,0%	5,4	5,4	5,8	5,8	38	36	0,15	0,16	4 380	4 252	
		2,465	4,9%	5,2	5,6	35	0,16	3 953							
PLEŠOVICE	160/220	2,408	2,585	6,9%	7,0	7,1	7,4	7,5	28	25	0,26	0,30	4 621	4 554	98
		2,416		6,5%	6,9		7,4		24		0,31		4 425		
		2,406		6,9%	7,3		7,6		24		0,32		4 617		
		2,491	3,9%	6,3	7,5	32	0,23	4 300							
		2,492	2,585	3,8%	6,9	6,4	7,7	7,3	31	32	0,25	0,23	4 723	4 477	
		2,492	3,9%	6,0	6,6	33	0,20	4 408							
PLEŠOVICE + MASTEK	160/220	2,470	2,656	7,0%	9,6	8,6	10,3	9,2	25	25	0,41	0,37	6 753	6 225	103
		2,455		7,6%	8,0		8,6		25		0,34		5 983		
		2,453		7,6%	8,3		8,7		25		0,35		5 940		
		2,457	7,5%	5,3	5,4	38	0,14	5 911							
		2,480	2,656	6,6%	6,4	6,0	7,2	6,6	32	35	0,23	0,19	6 674	6 391	
		2,487	6,4%	6,3	7,1	36	0,20	6 588							
CHTNÍKY	160/220	2,486	2,612	4,8%	7,5	7,5	9,4	9,3	22	23	0,43	0,40	3 819	3 878	88
		2,467		5,5%	7,2		9,0		26		0,35		3 791		
		2,479		5,1%	7,7		9,6		22		0,44		4 026		
		2,488	4,8%	8,6	9,3	30	0,31	3 336							
		2,484	2,612	4,9%	7,9	8,5	8,0	9,0	28	28	0,29	0,32	3 506	3 414	
		2,508	4,0%	8,9	9,7	27	0,36	3 399							
LIBOCHOVANY	160/220	2,491	2,587	3,7%	9,8	9,6	10,6	10,4	29	29	0,37	0,36	5 510	5 517	93
		2,470		4,5%	9,7		10,5		29		0,36		5 411		
		2,479		4,2%	9,3		10,2		29		0,35		5 632		
		2,490	3,8%	9,1	8,7	36	0,24	5 494							
		2,457	2,587	5,0%	6,8	7,7	7,3	8,0	41	38	0,18	0,21	4 947	5 124	
		2,484	4,0%	7,2	7,9	38	0,21	4 933							
LITICE	160/220	2,512	2,638	4,8%	7,6	7,5	10,1	9,8	28	27	0,36	0,36	3 411	3 317	97
		2,510		4,8%	7,3		9,3		27		0,34		3 279		
		2,511		4,8%	7,7		10,0		26		0,38		3 261		
		2,509	4,9%	6,1	7,8	33	0,24	3 129							
		2,505	2,638	5,0%	5,7	6,0	7,3	7,6	34	33	0,21	0,23	3 223	3 203	
		2,508	4,9%	6,3	7,7	32	0,24	3 257							
BYSTŘEC	160/220	2,464	2,600	5,2%	9,8	10,1	10,5	11,0	29	31	0,36	0,35	-	-	-
		2,472		4,9%	9,7		10,7		30		0,36		-		
		2,477		4,7%	10,8		11,7		34		0,34		-		
		2,461	5,3%	8,2	8,9	38	0,23	-							
		2,465	2,600	5,2%	7,9	7,9	8,7	8,6	39	39	0,22	0,22	-		
		2,462	5,3%	7,6	8,3	40	0,21	-							

Směs	MS	MS _{ratio}	MT	MT _{ratio}	S ₁₅
VÁPENCOVÁ MOUČKA	9,03	0,30	0,41	0,54	4 793
	6,30		0,19		4 339
BRANT	8,13	0,28	0,32	0,49	3 890
	5,83		0,16		4 252
PLEŠOVICE	7,47	0,03	0,30	0,23	4 554
	7,27		0,23		4 477
PLEŠOVICE + MASTEK	9,17	0,28	0,37	0,49	6 225
	6,57		0,19		6 391
CHTNÍKY	9,33	0,04	0,40	0,21	3 878
	9,00		0,32		3 414
LIBOCHOVANY	10,43	0,24	0,36	0,42	5 517
	7,97		0,21		5 124
LITICE	9,80	0,22	0,36	0,37	3 317
	7,60		0,23		3 203
BYSTŘEC	10,97	0,21	0,35	0,37	-
	8,63		0,22		-