



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA SILNIČNÍCH STAVEB

Separace asfaltových směsí při výrobě a dopravě

Separation of Asphalt Mixtes in Production and Transport

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: Ing. Petr Mondschein, Ph.D.

Aneta Kovačová

Praha 2019



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci na téma „Separace asfaltových směsí při výrobě a dopravě“ vypracovala samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací vedoucího bakalářské práce. Uvedla jsem veškerý seznam použité literatury a informačních zdrojů. Vše v souladu s metodickým pokynem č. 1/2009 O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací. Dále prohlašuji, že nemám žádné námítky pro užití této bakalářské, či její části.

V Praze dne.....

Aneta Kovačová



Poděkování

Děkuji panu Ing. Petru Mondscheinovi Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce za rady, připomínky a pomoc při vypracování této práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Vlastimilovi Nevrklovi za poskytnutí potřebných materiálů a cenných rad. Děkuji i všem pracovníkům silniční laboratoře Českého vysokého učení technického v Praze, zvláště panu Ing. Janu Sudovi, Ph.D., za ochotu kdykoli pomoci, či poradit s jakýmkoliv problémem v silniční laboratoři.



Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou separace asfaltových směsí při jejich výrobě a dopravě. V teoretické části jsou přiblíženy technologie výroby a doprava asfaltových směsí. Dále je teoretická část věnována samotné problematice separace, separačním činidlům a jejich vlivu na asfaltovou směs. V praktické části je nejdříve demonstrován rozdíl mezi rozpouštědlovými a nerozpouštědlovými separačními činidly. Dále je zkoumána vhodnost vybraných zkoušek pro popis vlivu těchto činidel na mechanické vlastnosti asfaltové směsi.

Klíčová slova

asfaltová směs, šaržová obalovna, kontinuální obalovna, doprava, separace, rozpouštědlo, separační činidlo, Marshallova zkouška, ztráta částic, odolnost proti působení pohoných hmot

Abstract

This bachelor thesis deals with the issue of separation of asphalt mixtures in their production and transport. In the theoretical part, the technologies of production and transport of asphalt mixtures are presented. Furthermore, the theoretical part deals with the issue of separation, asphalt release agents and their influence on the asphalt mixture. In the practical part, first of all, the difference between solvent and non-solvent asphalt release agents is demonstrated. Second of all, the suitability of selected test methods to describe the impact of these asphalt release agents on the mechanical properties of the asphalt mixture is examined.

Key words

asphalt mixture, batch plant, continuous plant, transportation, separation, solvent, asphalt release agent, Marshall test, particle loss, resistance to fuel



Obsah

1	Úvod.....	8
2	Technologie výroby asfaltových směsí	9
2.1	Šaržové obalovny.....	9
2.2	Kontinuální obalovny	13
3	Doprava asfaltových směsí	14
3.1	Základní principy dopravy asfaltových směsí.....	14
3.2	Stanovení potřebného počtu vozidel	17
4	Separace asfaltových směsí	18
4.1	Vývoj separace asfaltových směsí	18
4.2	Princip použití.....	20
4.3	Problémy spojené s rozpouštědlovými separátory.....	22
5	Praktická část.....	24
5.1	Charakteristika použitých materiálů	24
5.2	Zkouška funkce separačních činidel	25
5.3	Slide test	26
5.4	Příprava zkušebních těles	26
5.5	Volumetrické vlastnosti	27
5.6	Marshallova zkouška.....	29
5.7	Ztráta částic zkušebního tělesa.....	30
5.8	Odolnost proti působení pohonných hmot	31
6	Výsledky.....	33
6.1	Zkouška funkce separačních činidel	33
6.2	Slide test	35
6.3	Volumetrické vlastnosti	36
6.4	Marshallova zkouška.....	37
6.5	Ztráta částic zkušebního tělesa.....	39
6.6	Odolnost proti působení pohonných hmot	42
6.7	Shrnutí výsledků.....	47
7	Závěr	48
8	Seznam použitých zdrojů	49
9	Seznam obrázků	52
10	Seznam tabulek	54



11	Seznam grafů	55
12	Přílohy	56



1 Úvod

V současné době se zvyšují požadavky na kvalitu a životnost stavebních konstrukcí, dbá se i na trvalou udržitelnost, ekologickou stopu a obnovitelné zdroje. Ruku v ruce s tím se zvyšují požadavky na stavební materiály, tedy i na asfaltové směsi a s nimi spojené procesy. V této práci se budu věnovat konkrétně separaci asfaltových směsí během výroby a dopravy, což je nedílnou součástí silničního stavitelství. Je to opomíjené, ale pro kvalitu výsledné vozovkové vrstvy důležité téma.

Cílem teoretické části této bakalářské práce je seznámení se s technologiemi výroby, dopravou a s problematikou separace asfaltových směsí, tedy s jednotlivými druhy separačních činidel, s principem jejich používání a vlivem na asfaltové směsi.

Cílem praktické části je ověření funkčnosti jednotlivých vzorků separátorů, a to pomocí zkoušky funkce separačních činidel na destičkách a Slide testem. Dále se bude věnovat posouzení vhodnosti třech vybraných klasických zkoušek pro vyhodnocení vlivu těchto činidel na mechanické vlastnosti asfaltových směsí. Konkrétně se bude jednat o Marshallovu zkoušku, zkoušku ztráty částic zkušebního tělesa asfaltového koberce drenážního a zkoušku odolnosti proti působení pohonných hmot. Před jednotlivými zkouškami budou zkušební tělesa po stanovenou dobu namáhána vzorky separačních činidel. Zároveň bude každá zkouška provedena i na takto nenamáhaném (referenčním) tělese pro objektivní vyhodnocení výsledků.



2 Technologie výroby asfaltových směsí

Asfaltové směsi se vyrábějí na obalovnách. Obalovny můžeme rozlišit podle technologie výroby na šaržové (stacionární nebo mobilní) a kontinuální. V Evropě se s kontinuální výrobou téměř nesetkáme, ale například v USA je skoro 80 % obaloven kontinuálních. [1] V České republice je velmi hustá síť stacionární šaržových obaloven, které dokáží obsloužit jakékoli staveniště.

Obalovny musí být vybaveny takovým zařízením, aby byly schopny vyrábět asfaltovou směs v požadované kvalitě (podle zkoušek typu v povolených tolerancích). Všechna tato zařízení (tj. teploměry, vážicí zařízení kameniva, hmotnostní zařízení pojiva) musí být pravidelně kontrolována a kalibrována dle tzv. plánu kvality. [4]

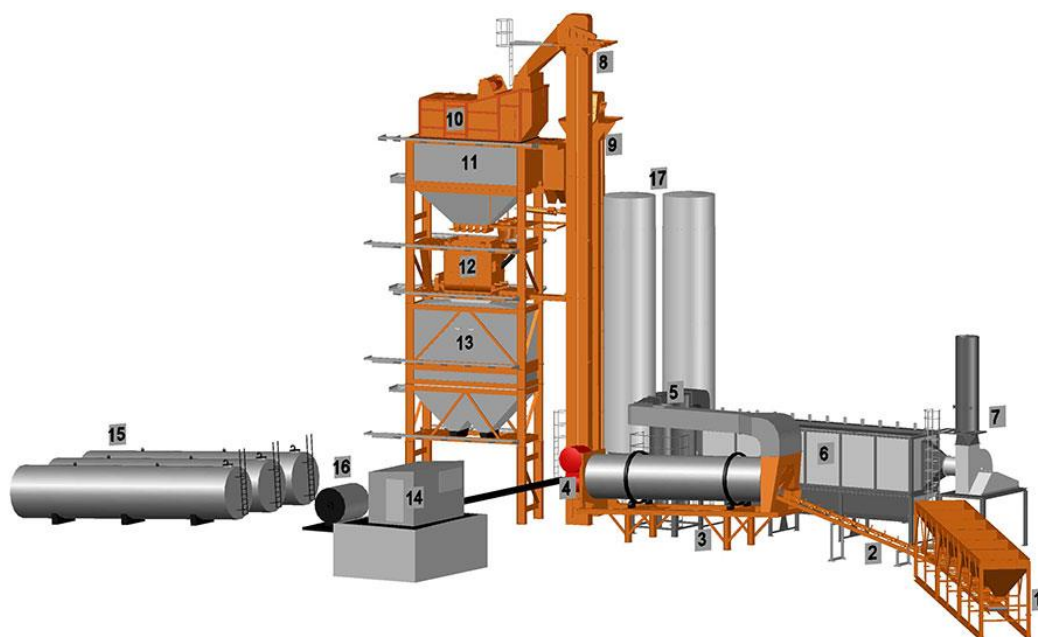
Každá asfaltová směs se vyrábí podle tzv. výrobního předpisu, který musí být k dispozici ve velícím centru. Jsou v něm stanoveny informace o přesném dávkování jednotlivých složek a o jejich teplotě. U šaržových obaloven ještě specifikuje pořadí dávkování do míchačky a dobu míchání. Postup výroby a doba míchání se musí zvolit tak, aby se všechno kamenivo stejnoměrně obalilo a vznikla tak homogenní směs. Po celou dobu výroby se kontrolují teploty kameniva, asfaltového pojiva a výsledné asfaltové směsi a musí být v souladu s výrobním předpisem. Pokud je směs přehřátá nebo moc studená nesmí se dále zpracovávat. [4]

Směs se podrobuje kontrolním zkouškám. V případě odchylek v tolerancích zkoušek typu je výroba pozastavena, provede se korekce a znovu se odebere vzorek. O těchto změnách se vede záznam tzv. změnový list. [4]

Asfaltová směs je ze zásobníků vysypávána na nákladní vozidla, každému vozidlu je vystaven tzv. dodací list, na kterém jsou uvedeny veškeré specifikace (označení shody CE, název výrobce a obalovny, číslo ČSN EN nebo ČSN/TP, popis směsi a označení dle ČSN EN nebo ČSN/TP, identifikační kód určený výrobcem, datum a doba expedice směsi, hmotnost dodávky, SPZ vozidla, odběratel a místo stavby). [4]

2.1 Šaržové obalovny

V šaržových obalovnách probíhá výroba asfaltových směsí diskontinuálně, tedy přerušovaně. Všechny komponenty jsou nejdříve přesně naváženy a teprve poté dojde k jejich míchání. Vyznačují se především tím, že je možné pro každou šarži změnit recepturu. Díky tomu, že lze přizpůsobit mísicí cykly a všechny komponenty se přesně dávkují, je kvalita výsledné asfaltové směsi vysoká.



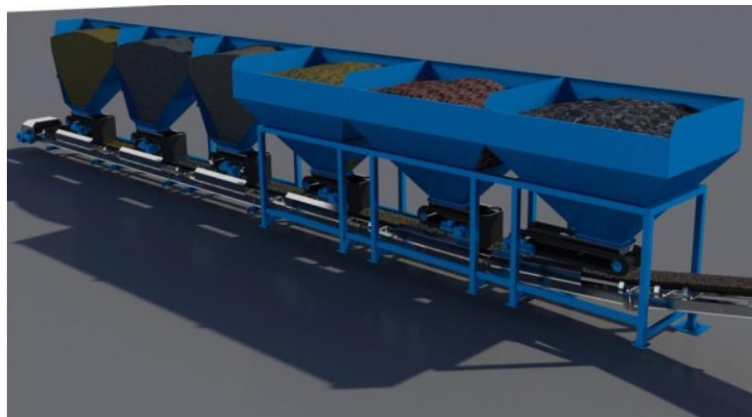
Obrázek 1 – Schéma stacionární šaržové obalovny [2]

Prvky obalovny na obrázku: 1 – studené dávkování, 2 – pásový dopravník, 3 – sušící buben, 4 – hořák, 5 – odprašování, 6 – usazovací filtry, 7 – odsávací ventilátor, 8 – korečkový výtah, 9 – podavač fileru, 10 – horké třídění, 11 – zásobníky horkého kameniva, 12 – míchací zařízení, 13 – silo vyrobené směsi, 14 – kontrolní kabina, 15 – zásobníky asfaltu, 16 – palivo, 17- sila vrátneho fileru. [2]

Mezi další prvky vybavenosti každé šaržové obalovny patří skládky kameniva (rozdělené podle frakcí a lokalit) a zařízení na přidávání přísad. V areálu obalovny se může nacházet i vlastní zkušební laboratoř. [4]

2.1.1 Postup výroby

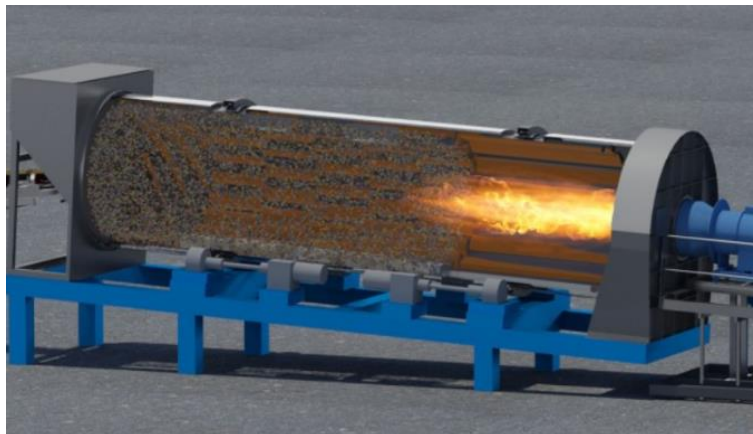
Výroba asphaltové směsi v šaržové obalovně začíná nadávkováním studeného kameniva příslušných frakcí z násypek. Poté je pomocí pásového dopravníku přepraveno do sušícího bubnu, kde je zahřáto na požadovanou teplotu a frakce jsou promíseny.



Obrázek 2 – Dávkování jednotlivých frakcí kameniva [3]



V sušícím bubnu jsou navařeny lopatky, díky nimž se při otáčení vytváří rovnoměrná clona z padajícího kameniva, což vede k jeho optimálnímu vysoušení. Postupně se kamenivo dostane do přední části bubnu, kde je umístěn hořák. Ten ohřívá proud vzduchu, který unáší jemné částice z vysušeného kameniva, ty se usazují ve filtrech a odtud putují do sila. Tento tzv. vratný filer, je částečně vrácen zpět do výroby, a to těsně před tím, než dojde k promíchání kameniva s pojivem. [1]



Obrázek 3 – Sušící bubna [3]

Hořáky v sušícím bubnu mohou spalovat zemní plyn, lehké topné oleje, uhelný prach. Existují i hořáky kombinované, které mohou spalovat více druhů paliv.

Ohřáté a promísené kamenivo se dále přesouvá, korečkovým výtahem, do věže obalovny na síta horkého třídění. Pomocí vibračních sít usazených v určitém sklonu je kamenivo opět roztříděno, tentokrát do tepelně izolovaných zásobníků. Tyto zásobníky také umožňují výrobu menšího množství směsi bez spuštění celé obalovny. [1]

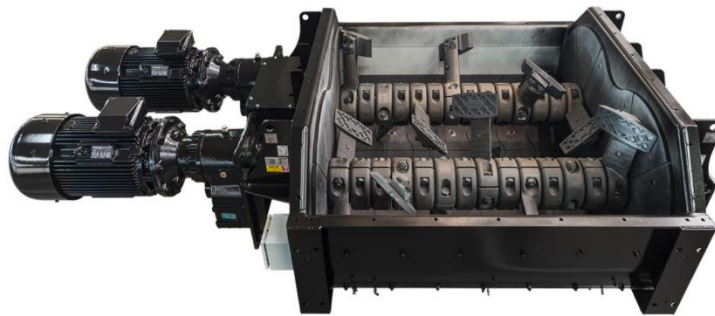


Obrázek 4 – Detail horkého třídění [3]



Jednotlivé zásobníky jsou opatřeny přepady a monitorovacím zařízením, které posílá do velínu informace o stavu hladiny a teplotě kameniva v konkrétním zásobníku. Tyto opatření zamezují možnosti přeplnění zásobníku a přepadu kameniva do zásobníku jiné frakce. [1]

Následuje proces míchání. Roztříděná zrna kameniva jsou navažována do míchačky podle výrobního předpisu. Nejdříve se dávkuje přesně navážené kamenivo a míchá se nasucho (obvykle 5 – 10 s), přidá se vratný filer a nakonec se vstříkuje horký asfalt. Míchání s asfaltovým pojivem musí být velmi rychlé. Asfaltový film na kamenivu, působením vzduchu, rychle stárne. [1], [4]



Obrázek 5 – Dvuhřídelová míchačka [5]

Míchačky jsou většinou dvuhřídelové, na hřídelích jsou usazena ramena s míchacími lopatkami. Dokonalé promísení směsi je zaručeno prostorovým přemísťováním. Každá hřídel je poháněna vlastním motorem. Vnitřní stěny míchačky jsou z otěruvzdorného materiálu. V její horní části jsou výpusti násypek kameniva, R-materiálu, fileru, dále je tam umístěna součtová váha a přívod pojiva. V plášti míchačky mohou být ještě dávkovače přísad, které je nutno dokonale utěsnit, aby během míchání nedocházelo k unikání prachu. [1]

Hotová směs se vysype do pojízdného vozíku, který ji přepraví do některého ze skladovacích zásobníků. Skladovací zásobníky jsou izolovány a často bývají předeřívány, aby v nich směs nechladla. Mohou být vybaveny roštem, který zabraňuje segregaci u hrubozrnných směsí. [1]



2.2 Kontinuální obalovny

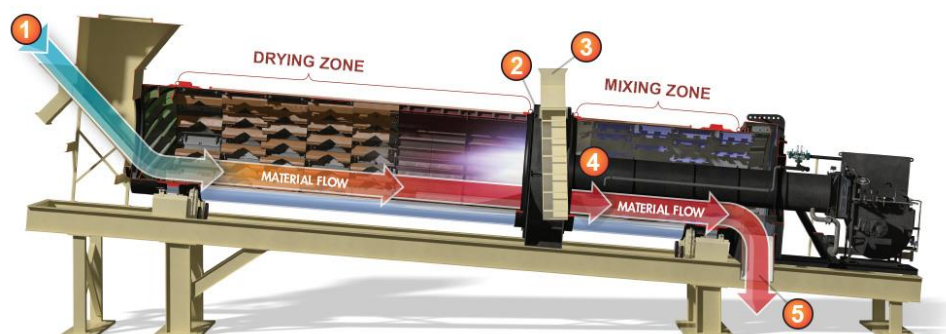
Specifikem výroby asfaltové směsi na kontinuální obalovně je nepřetržitý provoz, jednotlivé komponenty jsou kontinuálně přidávány do míchacího zařízení. Tento postup je vhodný pro velké liniové stavby, u kterých se receptura směsi nemění. Nejčastěji se používá systém Drum-mix s dvojrámovou míchačkou. [1]



Obrázek 6 – Schéma kontinuální obalovny [6]

2.2.1 Postup výroby

Nejdříve se naváží kamenivo, asfaltové pojivo i filer. Studené kamenivo je dopravováno do přední části sušícího bubnu. Toto kamenivo je již naváženo a je tedy důležité, aby parametry kameniva byly konstantní. Ohřáté kamenivo proudí po obvodu pláště a tím se promíchává. Na konci sušící části je umístěn přívod fileru a recyklovaného materiálu. Suchá horká směs se dostane do mísící části bubnu, kde je vstřikováváno pojivo. [1], [6]



Obrázek 7 – Schéma výroby kontinuální obalovny [7]



3 Doprava asfaltových směsí

Doprava asfaltové směsi na stavenišťě je nedílnou součástí pokládky a měla by být perfektně naplánována. Ovlivňuje totiž vlastnosti asfaltové směsi, její zhutnitelnost, a poté tedy výslednou kvalitu vozovkové vrstvy. Počet a velikost vozidel pro přepravu směsi se musí zvolit s ohledem na několik faktorů. Je nutné vzít v úvahu technologické podmínky, jako je sklápění směsi do násypky finišeru, tak klimatické podmínky jako jsou síla větru, vlhkost ovzduší, teplota podkladu apod. [8]

3.1 Základní principy dopravy asfaltových směsí

Požadavky na přepravu a zpracování asfaltové směsi jsou specifikovány v Technických kvalitativních podmínkách staveb pozemních komunikací, konkrétně v TKP 7 - Hutněné asfaltové vrstvy.

Základem správně naplánované a kvalitní dopravy asfaltové směsi z obalovny na stavenišťě jsou následující parametry s ohledem na klimatické podmínky:

- doba dopravy (délka trasy a rychlost jízdy)
- kapacita dopravního prostředku (ovlivňuje chladnutí)

Dopravenou směs na stavenišťi kontroluje pověřená osoba, pokud nemá správnou teplotu (měla by být vyšší než 150 °C), neměla by být převzata. [4], [8]

3.1.1 Doba dopravy

Doprava asfaltové směsi by neměla být delší než 2 h. Pokud je přeprava delší, směs na korbě vozidla chladne a dochází k jejímu hutnění. Obecně by měla být doprava co nejrychlejší, po co nejkratší vhodně zvolené trase. Při odhadu doby dopravy se nesmí zapomenout na nezbytné prostoje při pokládce, provoz na trase apod. [8]

Maximální doba dopravy dle TKP 7:

Teplota vzduchu ≤ 15 °C ...maximální doba dopravy $t = 1$ h

Teplota vzduchu > 15 °C ...maximální doba dopravy $t = 1,5$ h

Pokud se použijí homogenizátory (míchací zařízení), mohou se tyto doby prodloužit na 2 h.

V sílech na obalovně se směs může skladovat maximálně 2 h. Ale celková doba od výroby po pokládku nesmí být delší než 3,5 h.

Dodržení těchto časů by mělo zajistit, že směs nezchladne, bude homogenní, a tak dojde k jejímu správnému zhutnění a výsledná kvalita vozovkové vrstvy nebude dopravou negativně ovlivněna. [4]

3.1.2 Dopravní prostředky

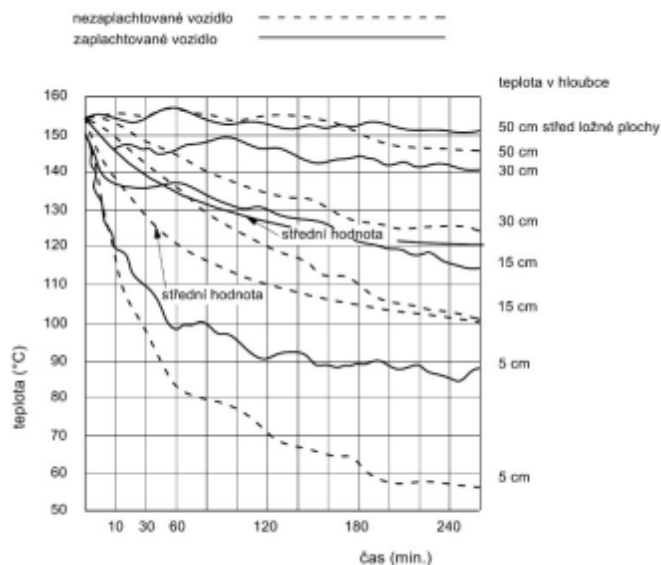
K dopravě lze použít jakýkoli typ nákladních vozidel, která mají hladkou a čistou korbu. Ta se musí vystříkat vhodným prostředkem pro separaci, aby se na ni směs nepřilepila. Po naložení asfaltové směsi na nákladní vozidlo se korba musí zakrýt plachtou nebo jiným zařízením.

Kapacitu dopravního prostředku volíme co největší. Měla by být alespoň 20 t, menší vozidla se nedoporučují. Mohou se je využít jen pro menší stavby s krátkou přepravní vzdáleností. Nejvhodnější, z hlediska teplotních ztrát, jsou vozidla s dobře izolovanou vanou se zaoblenými tvary. Lze přepokládat, že se v budoucnu bude problematika přepravy asfaltových směsí řešit pomocí speciálních vozidel. [4],[9]

3.1.3 Ochrana směsi

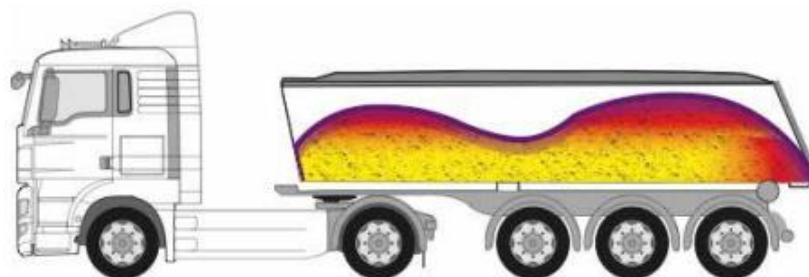
Směs se musí chránit především před vlhkostí, znečištěním, povětrnostními vlivy a celkovým zchladnutím. U hrubozrnných směsí by se ještě mělo zamezit segregaci.

Pokud směs nebude během dopravy chráněna plachtou nebo jiným zařízením a bude tedy vystavena proudícímu vzduchu, dojde k jejímu znehodnocení. Díky velkým rozdílům teplot horké asfaltové směsi a chladného proudu vzduchu a účinkům vzdušného kyslíku může dojít k degradaci vlastností pojiva až o 2 třídy. Tím se sníží jeho přilnavost ke kamenivu. Na povrchu směsi se vytvoří ochlazená kůra a směs může celkově výrazně zchladnout. [8]



Obrázek 8 – Průběh ochlazování směsi v závislosti na době jízdy [9]

Obecně se předpokládá, že směs na nákladním vozidle zchladne o 10 °C za hodinu. Ochlazování ale není rovnoměrné, na povrchu cca do hloubky 30 – 50 cm se tvoří ochlazená kůra, která může být při hutnění problémem. [8]



Obrázek 9 – Ochlazená vrstva asfaltové směsi [10]

3.1.4 Vozidla s tepelně izolovanou korbou a technika vytlačování směsi

Vozidla s tepelně izolovanou korbou a s technikou vytlačování směsi jsou cestou k vyšší kvalitě dopravené směsi. Podle studie Technické univerzity Mnichov jsou tepelné ztráty průměrně o 3,2 °C nižší, pokud se pro přepravu směsi použije tepelně izolovaná korba. Díky technice vytlačování směsi z korby, místo klasického sklápění, je směs promíchávaná během celé vykládky. To vede k lepší tepelné i strukturální homogenitě směsi, ta zase přispívá ke kvalitnější pokládce. Navíc technologie vytlačování směsi zanechá korbu vozidla čistou, beze zbytků, a to i bez separačního prostředku. Další výhodou je možnost vyložení směsi ve stísněných prostorech, pod trolejovým vedením ve městech apod. [10]



Obrázek 10 – Vytlačování asfaltové směsi ve stísněných prostorách [11]

Používáním dopravních prostředků tohoto typu by se tedy mohla zvýšit kvalita a životnost asfaltových vrstev, samozřejmě spolu s dodržení pracovních postupů během hutnění směsi.



3.2 Stanovení potřebného počtu vozidel

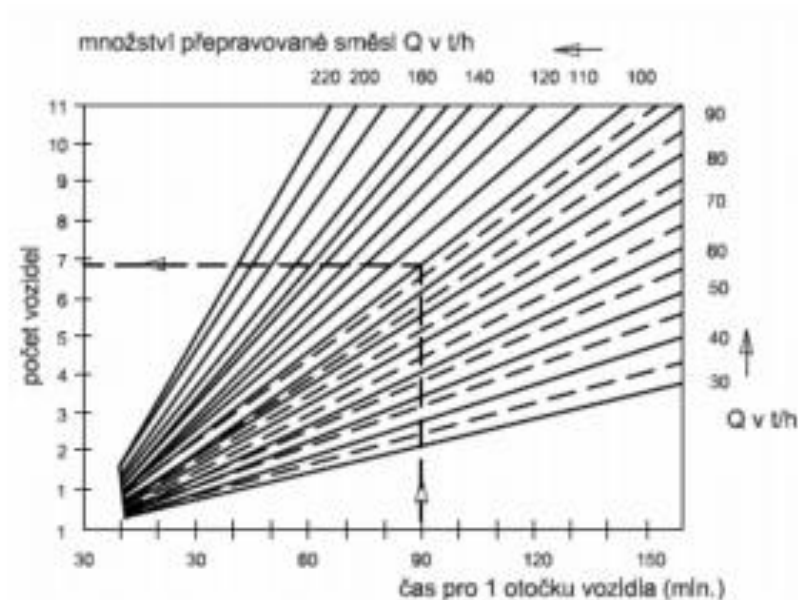
Minimální počet dopravních prostředků, lze vypočítat buď pomocí vzorce nebo určit pomocí nomogramu.

$$n = \frac{t * Q}{60 * o}$$

kde t ...čas potřebný pro otočení vozidla [min]

Q ...množství přepravované směsi [t/h]

o ...kapacita korby vozidla [t]



Obrázek 11 – Nomogram pro stanovení počtu dopravních prostředků stejné kapacity [9]

Oba zmíněné postupy jsou orientační a je potřeba zvážit všechny klimatické a technologické okolnosti, jak již bylo zmiňováno v odstavcích výše. [8]



4 Separace asfaltových směsí

Separace ložných ploch je nedílnou součástí manipulace s asfaltovou směsí. Asfaltová směs má tendenci nalepovat se na všechno náčiní, které s ní přijde do kontaktu. Separáčnická činidla se tedy používají nejen během dopravy směsi z obalovny na staveniště, ale i v rámci obaloven na vozíky (většinou na ně bývá separátor aplikován na začátku a na konci výroby) a na nářadí. Dokonce se s nimi můžeme setkat i přímo na staveništi (aplikace na finišery). Používání separáčnických činidel zjednodušuje čištění nástrojů a také šetří množství směsi. Bez nich by na korbě zůstalo velké množství odpadu, které by se muselo mechanicky odstranit.

Separátory můžeme rozdělit na dva základní typy:

- Rozpouštědlové (např. nafta, modifikovaný řepkový olej, metylester)
- Nerozpouštědlové (např. mazlavé mýdlo, vícemocné alkoholy, silikonové emulze, hrubozrný filer)

[12], [13]

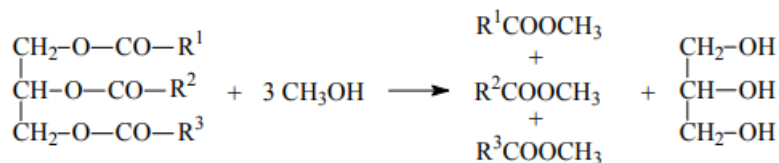
4.1 Vývoj separace asfaltových směsí

S postupným vývojem silničního stavitelství začaly být kladeny na separáčnické prostředky vyšší požadavky, a to z funkčního i ekologického hlediska. Začalo se více dbát na zdraví a bezpečnost při práci. Všechny tyto okolnosti vedly k následujícímu vývoji.

Jako první prostředek, který zamezoval přilepení se směsi na korbu nákladního vozidla, se používala nafta. Funkci separace plnila dobře, ale jelikož je to silné rozpouštědlo asfaltového pojiva mělo její používání negativní vliv na výsledné mechanické vlastnosti směsi. Její používání je nevhodné z ekologického i bezpečnostního hlediska a bylo zakázáno. Z nafty se při kontaktu s horkou asfaltovou směsí uvolňují těkavé látky, které jsou zdraví nebezpečné. [13], [15]

Řešením těchto problémů měly být mýdlové emulze („mazláky“) a olejové emulze (olej+voda). V chladném počasí nastával problém při jejich aplikaci. Emulze na bázi vody zamrzala a tím se ničila čerpadla používaná pro nástřik korby. Navíc byl problém i se stabilitou těchto směsí, v mýdlové emulzi vznikaly sraženiny a olejová emulze se rozrážela na 3 fáze (olej, vodu a na mezifázi). [13]

Poté se začaly používat rostlinné modifikované oleje. Nejčastěji se k modifikaci používal metylester řepkového oleje (MEŘO), ten se vyrábí reesterifikací. Konkrétně se mísí surový řepkový olej s metanolem jako katalyzátor se použijí alkalické hydroxidy (např. hydroxid draselný). Výsledkem této chemické reakce je MEŘO a G-fáze (glycerol), tyto produkty se od sebe musí oddělit. Surový řepkový olej nelze používat kvůli jeho vysoké viskozitě. [13]



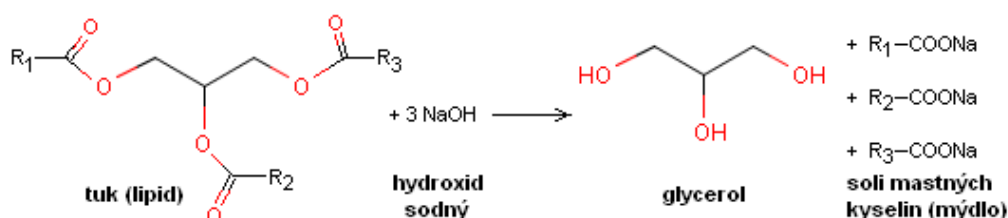
Obrázek 12 – Schéma esterifikace oleje metanolem [14]

Po roce 2010 se začala vyvíjet biologicky odbouratelná asfaltová separační činidla. Nejčastěji se můžeme setkat s těmi, jejichž základem je olej. Ta mohou být složena z lecitinů rozptýlených v éteru, ze zředěných mastných kyselin, z talového oleje, z glycerolu, z minerálních olejů apod. Další organické či anorganické separátory mohou být na bázi směsi vody se silikonovou emulzí, s polycyklickými alifatickými aminy, s roztoky hořčíku nebo chloridu vápenatého apod. [15]

Většina z nich funguje na principu rozpouštědla, obsahují tedy estery mastných kyselin (nejčastěji metylestery) nebo alkany.

Nynějším trendem je vývoj těch nerozpouštědlových, které jsou buď na bázi glykolových nebo silikonových emulzí. Výhodou glykolových emulzí je jejich mísitelnost s vodou, rozložitelnost a dostupnost jejich základní suroviny glycerolu, která lze vyrobit ze všech přírodních tuků. Tuk se působením NaOH nebo KOH štěpí na glycerol a směs alkalických solí alifatických kyselin (mýdlo). Také často vzniká jako vedlejší (odpadní) produkt při průmyslových procesech (např. při výrobě bionafty viz Obrázek 12), takže by se jeho využitím snížilo celkové množství vyprodukovaného bioodpadu.

[16], [18]



Obrázek 13 – Schéma výroby glycerolu z tuku [16]

Glykol vzniká katalickou hydrogenolýzou glycerolu. [19] Glykol spolu s vodou tvoří nemrzoucí emulzi narozdíl od dříve používaných olejových či mýdlových emulzí.

Dalším kladem nerozpouštědlových separátorů je kromě jejich téměř neomezené mísitelnosti s vodou i to, že je není nutné aplikovat před každou nákladkou směsi. Korba nákladního auta je čistá, zůstává na ní mikrofilm, tudíž jsou výhodné i z ekonomického hlediska. [19]

V Rakousku a Německu se pro separaci používá hrubozrný filer, který se pomocí lopatky rozhází po korbě nákladního vozidla. Při tomto způsobu separace je důležité, aby se opravdu používal hrubozrný filer. Jemnozrný filer by totiž fungoval přesně opačně, vytvořila by se jakási pasta, která by se na korbu vozidla přilepila. [13]



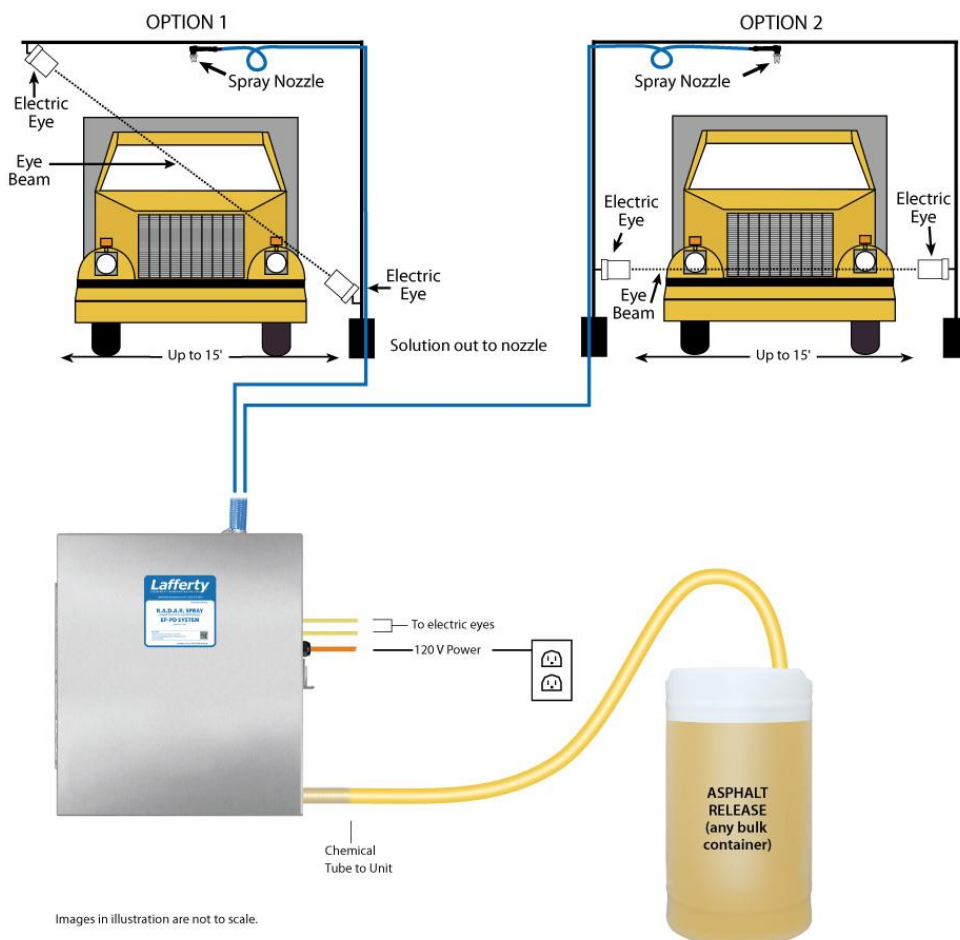
4.2 Princip použití

Pro funkčnost separátoru, ať už rozpouštědlového nebo nerozpouštědlového, je důležitá jeho správná aplikace. Separátor, který je na obalovně k dispozici, si každý řidič na své vozidlo aplikuje sám pomocí rozprašovacího zařízení. Toto zařízení je většinou automaticky přednastavené na dobu postřiku 15 s, což je čas, který stačí k nástřiku tenké vrstvičky na korbu jednoho nákladního vozidla. Poté je na zařízení nastavená časová prodleva, která má zabránit opakovanému nástřiku jednoho vozidla. Bohužel toto opatření je možné obejít tím, že řidič zařízení vypne a zapne, tím ho restartuje a může ihned aplikovat další dávku separátoru. Tím zapříčiní vysoce pravděpodobné znehodnocení přepravované směsi viz kapitola 4.3. [13]



Obrázek 14 – Lávka, ze které si řidič aplikuje separátor na korbu [20]

Existují i rozprašovací systémy viz obrázek 15, které fungují zcela automaticky. Ty se skládají z rámu, na který se upevní senzory a rozprašovací tryska. Nákladní vozidlo vjede do rámu, sepnou se senzory a po nastavené časové prodlevě začne aplikace separátoru. Řidič tedy pouze projede rámem a má na korbě vozidla rozprášenou rovnoměrnou vrstvičku separátoru. Pokud by řidič projel rámem rychleji, tryska se automaticky vypne. [21] U nás se zatím žádné obalovně takové zařízení nenachází.



Images in illustration are not to scale.

Obrázek 15 – Automatický rozprašovací systém [21]

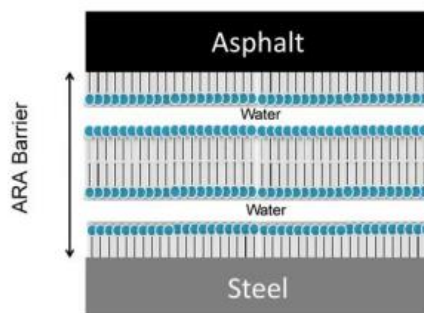
4.2.1 Rozpouštědlové separátory

Rozpouštědlový separátor s pojivem vytvoří tenkou vrstvičku na stykové ploše korby nákladního vozidla s asfaltovou směsí. Fungují tedy na principu změknutí asfaltu a snížení jeho viskozity. Při vyklápění směs klouže po tenoučké vrstvě asfaltu, nikoli po vrstvě separátoru. Korba je po vykládce směsi zašlemovaná asfaltem a musí se před další nkládkou očistit. Pokud je rozpouštědlový separátor dostatečně rozprášen a není ho nepřiměřené množství tak funguje skvěle a směs nijak nenarušuje (zůstane na korbě, do vozovkové vrstvy se nedostane). [12], [17]

4.2.2 Nerozpouštědlové separátory

Separátor bez rozpouštědlových složek musí být opravdu dobře rozprášen. Je důležité, aby se po aplikaci na korbě vytvořil mikrofilm, po které směs při vyklápění sklouzne. Fungují na principu „bariéry“ mezi směsí a korbou nákladního vozidla. Korba je tedy po vykládce směsi čistá. [12], [18]

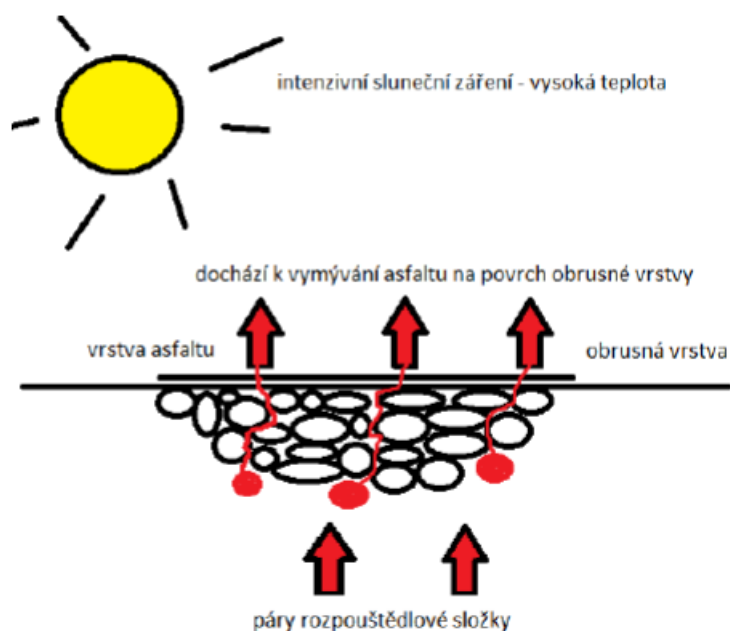
Glykolové emulze se mísí s vodou kvůli snížení viskozity a možné aplikaci. Zároveň spolu tvoří výše zmíněnou bariéru viz obrázek 16.



Obrázek 16 – Hypotetická amfifilní struktura glykolové emulze [18]

4.3 Problémy spojené s rozpouštědlovými separátory

Při špatné aplikaci, tedy při nástřiku neúměrného množství nebo při špatném rozprášení rozpouštědlového separátoru, dojde k jeho stečení ze svislých stěn na dno korby nákladního vozidla. Vytvoří se „louže“, která se při vykládce spolu se směsí vykloupí. Část vozovkové vrstvy, která bude zhotovena z takto znehodnocené asfaltové směsi, bude do budoucna místem poruch.



Obrázek 17 – Princip negativního působení rozpouštědlového separátoru [12]

Poruchy vozovky vznikají důsledkem rozpouštěním pojiva a tenzí par při vyšších teplotách vozovky ($t > 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, což jsou u asfaltové vozovky v letním období běžné teploty). Asfalt se „potí“ na povrch vozovky a zároveň se na povrchu v důsledku tlaku par vytvářejí mikroskopické trhliny. Obrus vozovky tedy ztrácí svoji mechanickou pevnost a propadá se, což je příčinou pozdějších výtluků. Navíc díky mikroskopickým trhlinám může do konstrukce vozovky zatékat voda a zapříčinit další poškození. [12]



Obrázek 18 – Jádrový vývrt s viditelným vypoceným asfaltem [13]



Obrázek 19 – „Vypocený“ asfalt na dálnici D3 [13]



5 Praktická část

5.1 Charakteristika použitých materiálů

5.1.1 Asfaltová směs

Zkušební tělesa byla vyrobena z asfaltové směsi ACO 8 50/70. Směs byla z obalovny Klecany společnosti EUROVIA CS a.s.

5.1.2 Asfaltové pojivo

Pro zkoušky na destičkách byl použit nemodifikovaný silniční asfalt 50/70 a polymerem modifikované pojivo 25/55-60.

Označení 50/70 uvádí hloubku penetrace jehlou v rozmezí 5 – 7 mm při 25 °C. Označení 25/55-60 uvádí hloubku penetrace jehlou v rozmezí 2,5 – 5,5 mm, bod měknutí $\geq 60^\circ\text{C}$.

5.1.3 Separáční činidla

V praktické části jsem pracovala s pěti separátory. Separátor č.1 je nafta, ta byla použita pro porovnání především s rozpouštědlovými separátory, vzhledem k jejímu hojnému používání v minulosti. Ostatní vzorky jsou separátory různých výrobců, které se u nás běžně používají.

- Separátor č.1 – nafta
 - Separátor č.2
 - Separátor č.3
 - Separátor č.4
 - Separátor č.5 – nerozpouštědlový
- } rozpouštědlové

Složení separátorů na základě chemické analýzy:

Pro chemickou analýzu separátorů byla použita metoda GC MS (Perkin Elmer). Separátor č.5 byl derivatizován pomocí methylačního činidla, aby došlo k převedení některých látek přítomných ve vzorku na příslušné metylestery. Ostatní vzorky byly analyzovány bez úprav.

Separátor č.2:

1. Palmitic acid, methyl ester	ca 4%
2. Oleic/elaidic acid, methyl ester	ca 64%
3. Linoleic acid, methyl ester	ca 26%
4. Linolenic acid, methyl ester	ca 4%
5. Palmitoleic acid, methyl ester	ca 0,5%

Separátor č.2 je modifikovaný řepkový olej metylesterem. Metylestery obsahuje z 98 %.



Separátor č.3:

1. Palmitic acid, methyl ester	ca 6%
2. Oleic/elaidic acid, methyl ester	ca 57%
3. Linoleic acid, methyl ester	ca 29%
4. Linolenic acid, methyl ester	ca 5%
5. Palmitoleic acid, methyl ester	ca 0,5%

Separátor č.3 je frakce surového MEŘO. Metylestery obsahuje z 97 %.

Separátor č.4:

1. Nonadecane	ca 8%
2. Hexadecane	ca 11,5%
3. Tetradecane, 2,6,10-trimethyl	ca 8%
4. Octadecane	ca 8%
5. Pyrene, hexadecahydro-	ca 5%

Separátor č.4 je na bázi minerálního oleje, tudíž obsahuje alkany.

Separátor č.5:

1. Glycerol	ca 70%
2. Palmitic acid	ca 1%
3. Oleic/elaidic acid	ca 20%
4. Linoleic acid	ca 1,3%
5. Linolenic acid	ca 0,3%
6. 11-Eicosenoic acid	ca 0,4%

Separátor č.5 je na bázi glykolové emulze.

5.2 Zkouška funkce separačních činidel

Touto zkouškou byla demonstrována funkčnost a princip separace jednotlivých vzorků separačních činidel. Hodnocení této zkoušky bylo provedeno na základě vizuálního posouzení zbytku pojiva na destičce.

Zkouška byla prováděna na dvou typech destiček (bílé kachličky a železné destičky). Na destičky bylo silikonem vyznačeno kolečko, aby se potom asfalt neroztekł po celé zkušební destičce a pomocí rozprašovače byla nanesena vrstvička separátoru. Nemodifikované pojivo bylo ohřáto v sušárně na teplotu 150 °C, modifikované na 170 °C. Když byl asfalt ohřátý, a tedy dostatečně tekutý, bylo ho cca 10 g nalito na připravenou. Po 30 minutách bylo pomocí špachtle seškrábnuto.



5.3 Slide test

Tato zkouška byla inspirována mixture slide testem [22] pro separační činidla. Během zkoušky je simulováno vyklápění směsi z nákladního vozidla.

Pro tuto zkoušku byl použit plech nahřátý na 70 °C, který simuloval dno korby nákladního vozidla. Asfaltová směs byla ohřáta na teplotu 155 °C. Pomocí rozprašovače bylo na nahřátý plech aplikováno separační činidlo, poté na něj byla rozprostřena navážka (1000±10 g) asfaltové směsi (přibližně v prostoru 15x30 cm). Směs byla překryta papírem (kvůli přilepení se směsí) a zatížena 15 kg pro simulaci podmínek na dně korby nákladního vozidla. Po 30 minutách byl plech nakloněn v úhlu cca 45°, směs sklouzla dolu a plech byl vizuálně posouzen.

5.4 Příprava zkušebních těles

Pro praktickou část bylo potřeba vyrobit celkem 90 válcových zkušebních těles, hutněných 2x50ti údery.

Asfaltová směs byla navážena do nahřátých zednických fanek. Fanky s cca 1150 g směsí byly vloženy do sušárny, kde se ohřály na teplotu 155 °C. Spolu s navážkami se v sušárně temperovaly i další pomůcky pro přípravu zkušebních těles (špachtle, trychtýř, válcové formy, podložka, nástavec).



Obrázek 20 – Navážka směsi [20]



Obrázek 21 – Pomůcky pro výrobu zk. těles (trychtýř, forma, podložka, nástavec) [20]

Když měla směs požadovanou teplotu, připravila se podložka, forma a nástavec. Dno formy se vyložilo papírem, aby se těleso k podložce nepřilepilo. Pomocí trychtýře a špachtle byla do formy přesypána navážka, navrch bylo opět položeno kolečko papíru. Takto připravený vzorek byl vložen na hutnicí podstavec, na počítadle se nastavil počet úderů na 50 a spustilo se hutnění rázovým zhutňovačem. Po 50ti úderech byla forma v zhutňovači obrácena a opět se spustilo hutnění 50ti údery.

Zhutněné těleso se ve válcové formě nechalo zchladnout a poté, pomocí výtlačného zařízení, bylo vysunuto a řádně označeno pro pozdější identifikaci.



5.5 Volumetrické vlastnosti

5.5.1 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost zkušebních vzorků se stanovuje dle ČSN EN 12697-6. Tato norma nabízí čtyři možné postupy: postup A: objemová hmotnost – suchá, postup B: objemová hmotnost – nasycený suchý povrch, postup C: objemová hmotnost – utěsněné zkušební těleso a postup D: objemová hmotnost podle rozměrů.

V této práci jsem pro její určení zvolila postup B.

Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD):

Postup B, pro určení objemové hmotnosti zkušebního tělesa dle normy ČSN EN 12697-6, spočívá v rozdílných hmotnostech suchého a vodou nasyceného tělesa. Pomocí laboratorních vah byla stanovena hmotnost suchého tělesa m_1 . Poté bylo těleso vloženo do vodní lázně o známé teplotě t a syceno cca 45 min. Po nasycení byla určena hmotnost ponořeného tělesa ve vodě m_2 . Těleso bylo vyjmuto z vodní lázně, povrchově osušeno umělou jelenicí a byla určena hmotnost nasyceného, povrchově osušeného tělesa na vzduchu m_3 .

Pro výpočet je potřeba znát hustotu vody, s přesností na $0,0001 \text{ g/cm}^3$, v které probíhalo sycení. Tu byla vypočtena podle následujícího vztahu:

$$\rho_w = 1,00025205 + \left(\frac{7,59 \times t - 5,32 \times t^2}{10^6} \right)$$

kde ρ_w ... hustota vody při zkušební teplotě [g/cm^3]
 t ... teplota vody [$^{\circ}\text{C}$]

Výsledná hodnota objemové hmotnosti zkušebního tělesa byla vypočtena s přesností na $0,001 \text{ g/cm}^3$ pomocí vzorce:

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_w$$

kde ρ_{bssd} ...objemová hmotnost SSD [g/cm^3]
 m_1 ...hmotnost suchého zkušebního tělesa [g]
 m_2 ...hmotnost zkušebního tělesa ve vodě [g]
 m_3 ...hmotnost zkušebního tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného [g]
 ρ_w ... hustota vody při zkušební teplotě [g/cm^3]

[24]

5.5.2 Stanovení maximální objemové hmotnosti

Maximální objemová hmotnost byla určena na základě normy ČSN EN 12697-5. Tato norma nabízí 3 možné postupy: postup A: volumetrický postup, postup B: hydrostatický postup a postup C: matematický postup.

V této práci byl zvolen postup A.



Maximální objemová hmotnost – volumetrický postup:

Asfaltová směs byla ohřáta na cca 80 °C, poté byla rozprostřena na hrubé shluky, tak aby nebyly větší než 6 mm. Stanovila se hmotnost pyknometru s nástavcem m_1 a jeho objem V_p . Poté do něj byla nasypána zchladlá směs a stanovena hmotnost m_2 (tedy hmotnost pyknometru s nástavcem včetně vzorku směsi). Do pyknometru byla ke směsi nalita destilovaná voda o objemové hmotnosti ρ_w , asi 4 cm pod okraj a byla promíchána tak, aby se ve vodě neobjevovaly vzduchové bubliny. Pyknometr byl vložen do vakuové nádoby, kde se udržoval tlak 4 kPa, aby se odstranil zachycený vzduch. Poté byl pyknometr dolit destilovanou vodou až po referenční značku na nástavci, ke které byl stanoven objem V_p a byla určena jeho hmotnost m_3 .

Objemová hmotnost destilované vody byla určena podle následujícího vzorce:

$$\rho_w = 1,00016584 + \left(\frac{7,93 \times t - 5,29 \times t^2}{10^6} \right)$$

Maximální objemová hmotnost byla poté dopočtena podle následujícího vzorce:

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{\left(V_p - \frac{m_3 - m_2}{\rho_w} \right)}$$

kde	ρ_w	... hustota vody při zkušební teplotě [g/cm ³]
	t	... zkušební teplota destilované [°C]
	ρ_{mv}	... maximální objemová hmotnost [g/cm ³]
	V_p	... objem pyknometru při naplnění po referenční značce [cm ³]
	m_1	... hmotnost pyknometru a nástavce [g]
	m_2	... hmotnost pyknometru a zkušebního vzorku [g]
	m_3	... hmotnost pyknometru, zkušebního vzorku a vody [g]

[25]

5.5.3 Stanovení mezerovitosti

Mezerovitost V_m asfaltové směsi se určila výpočtem podle normy ČSN EN 12697-8, s přesností na 0,1 %, podle následujícího vzorce:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \times 100\%$$

kde	ρ_m	... maximální objemová hmotnost směsi [g/cm ³]
	ρ_b	... průměrná objemová hmotnost zkušebních těles [g/cm ³]
	V_m	... mezerovitost směsi [%]

[26]



5.6 Marshallova zkouška

Zkouška byla provedena na dvou sadách válcových zkušebních těles. Na celý povrch těles byly pomocí rozprašovače aplikována jednotlivá separační činidla. Doba působení separátorů před samotnou zkouškou byla u první sady těles 3 h, což teoreticky odpovídá maximální době přepravy směsi. Doba působení u druhé sady těles byla 24 h.

Marshallovou zkouškou, podle ČSN EN 12697-34, byla stanovena Marshallova stabilita, přetvoření a míra tuhosti zkušebních těles. Zkouška byla prováděna pomocí stroje pro zkoušky tlakem.

Výsledné hodnoty přetvoření F jsou vyjádřeny s přesností na 0,1 mm, Marshallova stabilita S na 0,1 kN a míra tuhosti S/F na 0,1 kN/mm.

Postup provádění zkoušky:

Zkušební těleso bylo po uplynutí doby namáhání separačním činidlem umístěno do sušárny, kde se 120 min temperovalo při teplotě 60 °C. (V normě je uváděna doba temperace 40-60 min ve vodní lázni, protože těleso bylo nastříkáno separátory, byla po dohodě zvolena suchá temperace. Aby se dosáhlo správné teploty, doba ohřevu byla zvolena dvojnásobná, protože těleso se na suchu temperuje déle.)

Po temperaci se těleso, jeho boční stranou, umístilo do tlačných čelistí tak, aby bylo přibližně ve středu a vznikl dobrý kontakt mezi povrchem tělesa a tlačnými čelistmi.

Poté už se začala samotná zkouška. Posunem dolní čelisti rychlostí 50 mm/min bylo těleso zatěžováno až do doby, kdy bylo dosaženo maximální síly. Maximální síla a přetvoření tělesa byly zaznamenány do řídicího softwaru. Na základě těchto hodnot byla vyjádřena Marshallova stabilita.

[27]



5.7 Ztráta částic zkušebního tělesa

Zkouška byla provedena na dvou sadách válcových zkušebních těles. Na celý povrch těles byly pomocí rozprašovače aplikována jednotlivá separační činidla. Doba působení separátorů před samotnou zkouškou byla u první sady těles 3 h, což teoreticky odpovídá maximální době přepravy směsi. Doba působení u druhé sady těles byla 24 h.

Ztráta částic zkušebního tělesa byla určena podle ČSN EN 12697-17, hmotnosti zkušebních těles byly určeny s přesností na 0,1 g a výsledné hodnoty byly zaokrouhleny na nejbližší 1 %.

Postup zkoušky:

Zkušební těleso bylo zváženo a určena jeho hmotnost W_1 . Poté na něj byl aplikován konkrétní separátor. Po uplynutí doby namáhání separačním činidlem bylo vloženo do otlukového bubnu Los Angeles, samostatně bez železných koulí. Počet otáček bubnu byl nastaven na 300.



Obrázek 22 – Otlukový buben [20]

Následně bylo těleso vyjmuto z bubnu, lehce očištěno štětcem od uvolněných částic a byla určena jeho hmotnost W_2 . Výsledná ztráta částic se vypočetla podle následujícího vzorce:

$$PL = 100 \times \frac{(W_1 - W_2)}{W_1}$$

kde PL ...ztráta částic [%]
 W_1 ...počáteční hmotnost zkušebního tělesa [g]
 W_2 ...konečná hmotnost otlučeního zkušebního tělesa [g]

[28]



5.8 Odolnost proti působení pohonných hmot

Zkouška byla provedena na dvou sadách Marshallových zkušebních těles. Způsob namáhání těles jednotlivými separačními činidly je popsán níže. Doba namáhání první sady těles byla 3 h, což teoreticky odpovídá maximální době přepravy směsi. Druhá sada těles byla namáhána 24 h.

Pro kartáčování bylo použito zařízení odpovídající požadavkům normy a bylo sestaveno z původní laboratorní míchačky. Norma ČSN EN 12697-43, podle které byla zkouška prováděna, nabízí ještě možnost použít pro kartáčování upravený frézovací stroj.

Postup provádění zkoušky:

Příprava zkušebních těles na zkoušku:

Zkušební těleso bylo ponořeno do kádinky s konkrétním separátorem tak, aby bylo ponořeno do 50 % své výšky (± 3 %), zároveň bylo zajištěno, pomocí kroužků určených ke stanovení penetrace, aby těleso neleželo na dně kádinky. Po uplynutí stanovené doby, bylo těleso vyjmuto z lázně, důkladně omyto pod tekoucí vodou a štětcem s jemnými štětiniami očištěno od uvolněných částic. Ponořený povrch byl vizuálně posouzen. Poté bylo těleso vloženo do klimatizační komory, kde se při 25 °C, 24 h vysoušelo. Po vysušení byla určena jeho hmotnost m_2 .



Obrázek 23 – Namáhání zk. tělesa [20]



Obrázek 24 – Ocelový kartáč [20]

Kartáčování:

Během kartáčování musí působit mezi tělesem a ocelovým kartáčem síla 140 ± 5 N. Rychlost otáčení kartáče byla nastavena na 60 otáček za minutu.

Každé těleso se kartáčovalo 3x a to v vždy v sérii 30 s, 30 s a 60 s. Celková doba kartáčování jednoho tělesa tedy byla 120 s. Po každém kartáčování bylo těleso jemně očištěno štětcem s měkkými štětiniami od uvolněných částic a byly určeny jeho hmotnosti m_3 , m_4 a m_5 .



Obrázek 25 – Laboratorní míchačka [20]

Výpočet a vyjádření výsledků:

Pro každé zkušební těleso byly podle následujících vzorců vypočteny tři parametry, které popisují ztrátu hmotnosti vzhledem k mechanickému namáhání tělesa a působení separačního činidla. Parametry byly určeny s přesností na 0,1 %.

$$A = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

$$B = \frac{m_2 - m_5}{m_2} \times 100$$

$$C = \frac{m_1 - m_5}{m_1} \times 100$$

- kde
- A ...ztráta hmotnosti po namáhání v separátoru [%]
 - B ...ztráta hmotnosti po zkoušce kartáčováním [%]
 - C ...celková ztráta hmotnosti [%]
 - m_1 ...hmotnost zkušební tělesa před ponořením do separátoru [g]
 - m_2 ...hmotnost tělesa po ponoření a sušení [g]
 - m_5 ...hmotnost tělesa po provedení celé zkoušky kartáčováním [g]

[29]

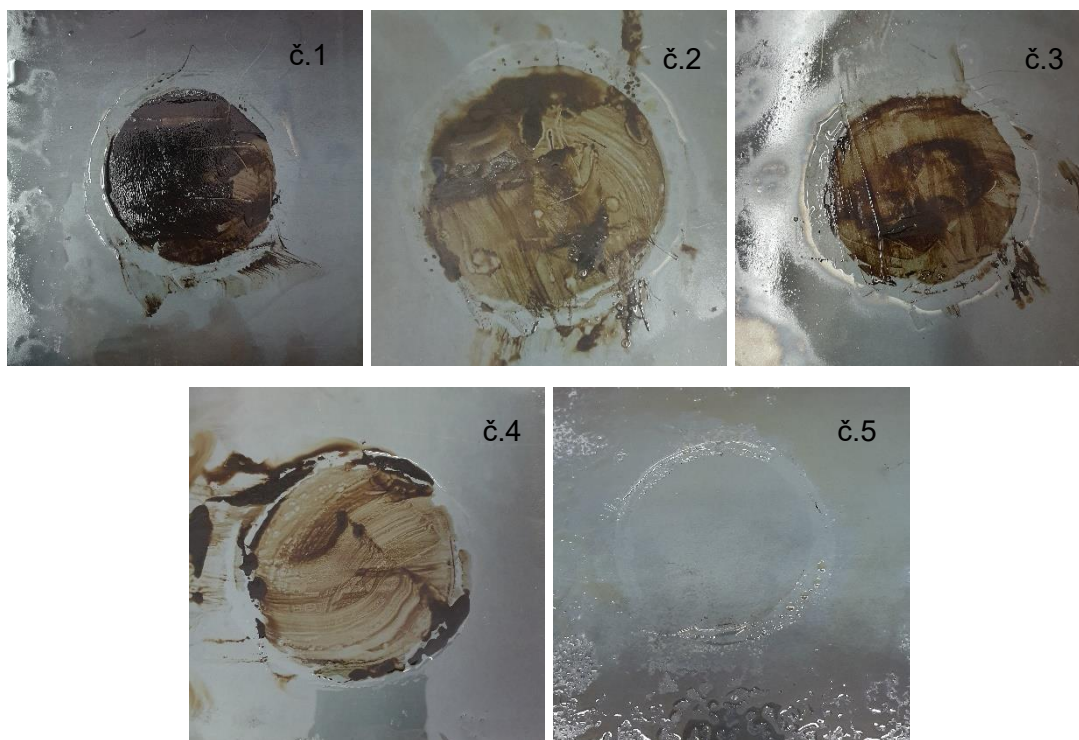
6 Výsledky

6.1 Zkouška funkce separačních činidel

Pro vyhodnocení této zkoušky byla vytvořena hodnotící stupnice viz tabulka 1, podle které lze posoudit vhodnost používání konkrétního separátoru.

značení	vhodnost	popis
A	vysoká	čistá destička na pohled i na dotek
B	střední	destička lehce zašpiněná, na dotek nelepí
C	nízká	destička zašpiněná, na dotek lepí

Tabulka 1 – Tabulka popisující vhodnost použití separačního činidla



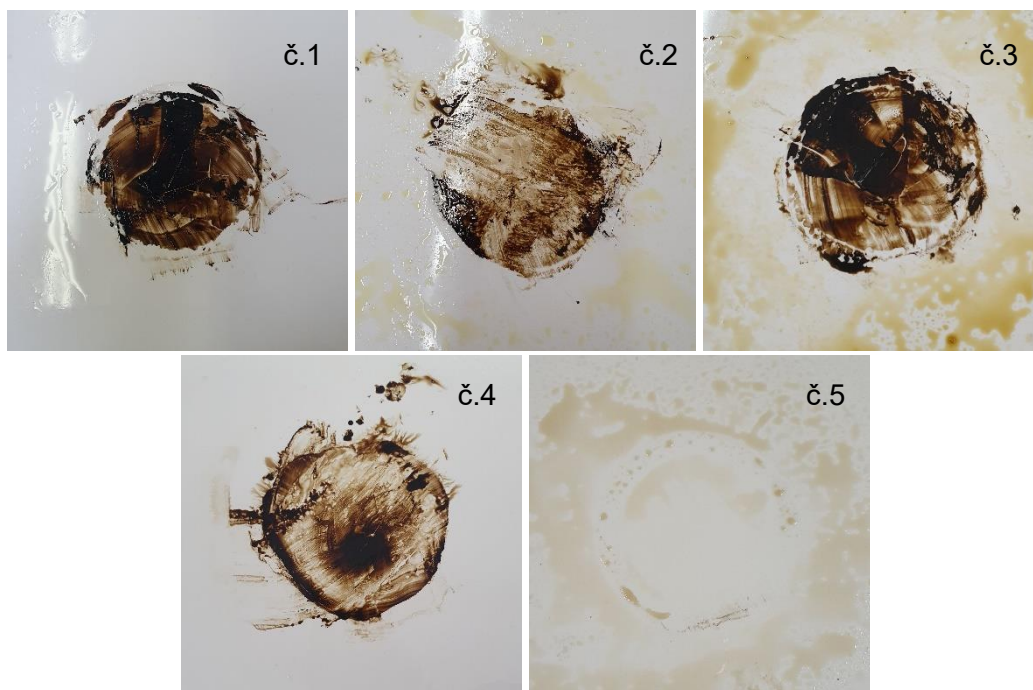
Obrázek 26 – Železné destičky po zkoušce funkce separačních činidel [20]

Separátor č.1	C	na destičce zůstala poměrně silná vrstva asfaltu
Separátor č.2	B	na destičce zůstala vrstva směsi separátoru a v něm rozpuštěného asfaltu, nelepilo to
Separátor č.3	C	na destičce zůstala vrstva směsi separátoru a asfaltu, lepilo to
Separátor č.4	B	na destičce zůstala vrstva směsi separátoru a v něm rozpuštěného asfaltu, nelepilo to
Separátor č.5	A	destička byla úplně čistá, zůstala na ní jen vrstvička separátoru

Tabulka 2 – Vyhodnocení funkce separačních činidel



Mezi nemodifikovaným a modifikovaným pojivem při této zkoušce nebyl viditelný rozdíl. Žádný rozdíl nebyl ani mezi použitými destičkami.



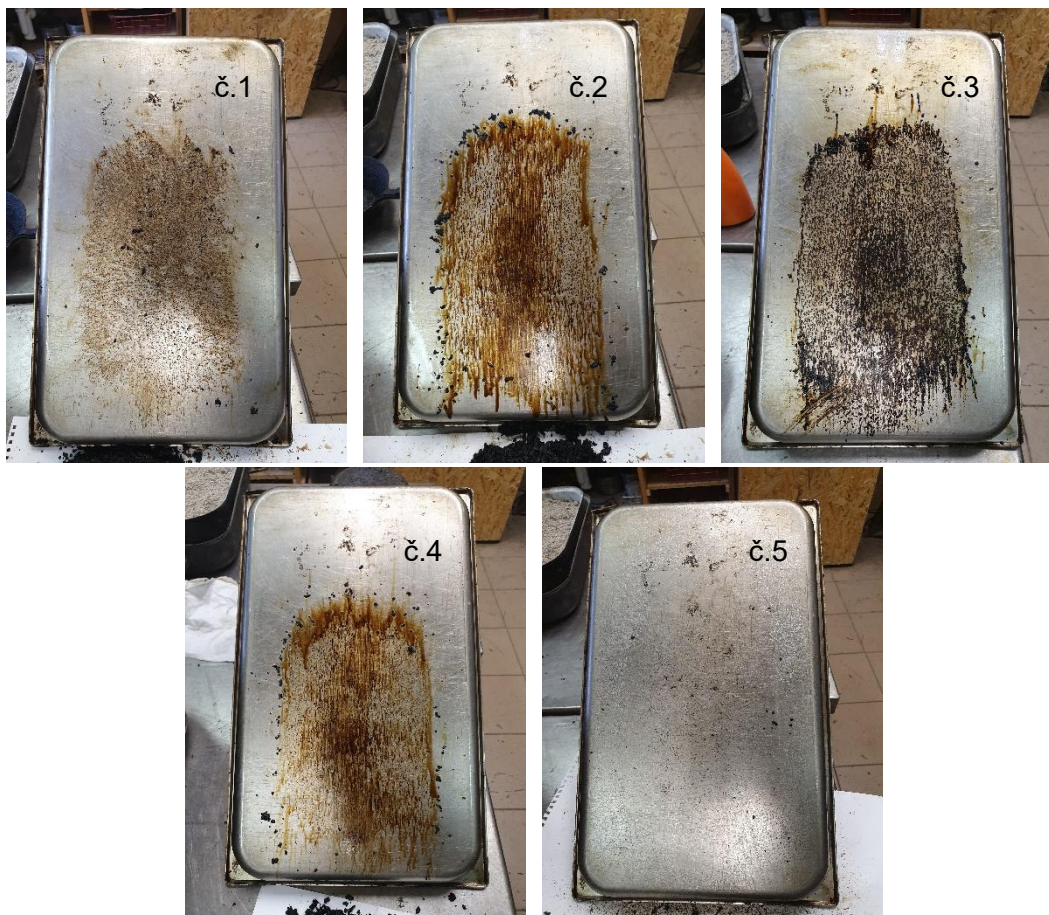
Obrázek 27 – Bílé kachličky po zkoušce funkce separačních činidel [20]

Separátor č.5 se na základě této zkoušky ukázal jako opravdu funkční, asfalt z destičky téměř sklouzl a nebyl vůbec rozpuštěn. Naopak separátory č.1 a č.3 jsou nevodné, asfalt šel z destiček těžko odstranit a zůstal na nich nalepený. Separátory č.2 a č.4 jsou zhodnoceny jako středně vhodné, asfalt sice rozpouští, ale šlo ho z destiček snadno odstranit. Na destičkách zůstala vrstvička směsi separátoru a asfaltu, která šla snadno setřít.



6.2 Slide test

Na základě tohoto testu byly vizuálně posouzeny zbytky směsi na plechu, který simuloval korbu nákladního vozidla.



Obrázek 28 – Plechy po slide testu jednotlivých separátorů [20]

Separátor č.5 potvrdil svoji funkčnost. Směs po plechu, který jím byl opatřen sklouzla, plech zůstal čistý jen se zbytky separátoru. Na plechách, které byly opatřeny separátory č.2 a č.4 zůstala po testu vrstva separátoru s asfaltem, která šla snadno setřít papírovým ubrouskem. Plech opatřen separátorem č.3 byl po testu pokryt krustou asfaltu, ale směs po něm sjela velice rychle. Nafta (separátor č.1) se ukázala jako nevhodná, směs byla na plechu přilepená (musela jsem do ní zatlačit, aby sjela). Plech tedy zůstal zašlemovaný asfaltem a šel špatně očistit.



6.3 Volumetrické vlastnosti

Objemové hmotnosti $\rho_{b,SSD}$ zkušebních těles jsou zaznamenány v tabulkách 13 – 15 v přílohouvé části této práce.

Průměrná objemová hmotnost $\phi\rho_{b,SSD}$ všech 90ti zkušebních tělese je $2,439 \text{ g/cm}^3$.

Maximální objemová hmotnost ρ_{mw} směsi je $2,601 \text{ g/cm}^3$.

Na základě průměrné objemové hmotnosti zkušebních těles a maximální objemové hmotnosti byla vypočtena průměrná mezerovitost ϕV_m směsi, která je tedy 6,2 %.

	doba namáhání	Marshallova zkouška		Ztráta částic zkušebního tělesa		Odolnost proti pohonným hmotám	
	t	$\phi\rho_{b,SSD}$	ϕV_m	$\phi\rho_{b,SSD}$	ϕV_m	$\phi\rho_{b,SSD}$	ϕV_m
	[h]	[g/cm ³]	[%]	[g/cm ³]	[%]	[g/cm ³]	[%]
Separátor č.1	3	2,416	7,1	2,460	5,4	2,446	6,0
	24 h	2,469	5,1	2,449	5,8	2,405	7,6
Separátor č.2	3 h	2,435	6,4	2,449	5,8	2,454	5,7
	24 h	2,439	6,2	2,464	5,3	2,443	6,1
Separátor č.3	3 h	2,438	6,3	2,453	5,7	2,442	6,1
	24 h	2,462	5,4	2,423	6,9	2,429	6,6
Separátor č.4	3 h	2,422	6,9	2,422	6,9	2,436	6,4
	24 h	2,442	6,1	2,404	7,6	2,446	6,0
Separátor č.5	3 h	2,442	6,1	2,464	5,3	2,431	6,5
	24 h	2,440	6,2	2,426	6,8	2,430	6,6

Tabulka 3 – Průměrné objemové hmotnosti a zrnitosti zkušebních těles pro konkrétní zkoušky



6.4 Marshallova zkouška

V této zkoušce byly vyhodnoceny následující parametry: přetvoření F , Marshallova stabilita S a míra tuhosti S/F .

referenční směs	
$\rho_{b,SSD}$ [g/cm ³]	2,435
V_m [%]	6,4
F [mm]	3,1
S [kN]	14,5
S/F [kN/mm]	4,7

Tabulka 4 – Výsledky Marshallovi zkoušky nenamáhané směsi

Vzhledem k referenčnímu tělesu lze říci, že separační činidla výsledky této zkoušky výrazně neovlivňují. Tělesa byla vzorky namáhána povrchově a ani po delší době namáhání nenarušila vnitřní strukturu zkušebního tělesa a stabilitu tak neovlivňují.

doba namáhání: 3 h	Separátor č.1	Separátor č.2	Separátor č.3	Separátor č.4	Separátor č.5
zk. těleso č.	1	4	7	10	13
F [mm]	2,8	2,8	2,8	2,6	2,7
S [kN]	13,3	16,2	12,9	14,5	15,3
S/F [kN/mm]	4,8	5,8	4,6	5,6	5,7
zk. těleso č.	2	5	8	11	14
F [mm]	3,0	2,6	3,2	2,5	2,6
S [kN]	11,6	14,3	12,5	15,1	17,2
S/F [kN/mm]	3,9	5,5	3,9	6,0	6,6
zk. těleso č.	3	6	9	12	15
F [mm]	2,8	2,9	3,0	3,0	3,1
S [kN]	12,6	14,1	12,3	14,0	14,4
S/F [kN/mm]	4,5	4,9	4,1	4,7	4,6
ϕF [mm]	2,9	2,8	3,0	2,7	2,8
ϕS [kN]	12,5	14,9	12,6	14,5	15,6
$\phi S/F$ [kN/mm]	4,4	5,4	4,2	5,4	5,6

Tabulka 5 – Výsledky Marshallovi zkoušky po 3 h namáhání v separačním činidle



Doba namáhání: 24 h	Separátor č.1	Separátor č.2	Separátor č.3	Separátor č.4	Separátor č.5
zk. těleso č.	16	19	22	25	28
F [mm]	2,7	2,6	2,6	3,3	2,7
S [kN]	10,3	10,2	10,4	10,5	14,8
S/F [kN/mm]	3,8	3,9	4,0	3,2	5,5
zk. těleso č.	17	20	23	26	29
F [mm]	2,3	3,1	2,9	2,8	3,6
S [kN]	13,8	9,9	11,0	14,1	13,2
S/F [kN/mm]	6,0	3,2	3,8	5,0	3,7
zk. těleso č.	18	21	24	27	30
F [mm]	2,6	3,0	2,7	2,8	2,8
S [kN]	10,3	10,7	13,8	13,9	13,2
S/F [kN/mm]	4,0	3,6	5,1	5,0	4,7
ϕ F [mm]	2,5	2,9	2,7	3,0	3,0
ϕ S [kN]	11,5	10,3	11,7	12,8	13,7
ϕ S/F [kN/mm]	4,6	3,6	4,3	4,4	4,6

Tabulka 6 – Výsledky Marshallovi zkoušky po 24 h namáhání v separačním čínidle



6.5 Ztráta částic zkušebního tělesa

Namáhání tělesa v otlukovém bubnu se ukázalo pro popis vlivu separačních činidel na mechanické vlastnosti asfaltové směsi jako neprůkazné.

V této zkoušce byla určována hmotnost w_1 zkušebního tělesa před zkouškou v otlukovém bubnu a hmotnost w_2 po zkoušce v otlukovém bubnu. Na základě těchto hodnot byla vypočtena ztráta hmotnosti PL .

referenční směs	
$\rho_{b,SSD}$ [g/cm ³]	2,451
V_m [%]	5,8
w_1 [g]	1149,6
w_2 [g]	1103,8
PL [%]	3,98

Tabulka 7 – Výsledky zkoušky ztráty částic nenamáhané směsi

doba namáhání: 3 h	Separátor č.1	Separátor č.2	Separátor č.3	Separátor č.4	Separátor č.5
zk. těleso č.	31	34	37	40	43
w_1 [g]	1151,3	1147,2	1147,8	1150,4	1143,0
w_2 [g]	1112,8	1108,4	1087,3	1045,9	1098,6
PL [%]	3,34	3,38	5,27	9,08	3,88
zk. těleso č.	32	35	38	41	44
w_1 [g]	1147,9	1141,4	1146,9	1148,9	1154,0
w_2 [g]	1116,8	1098,7	1085,3	1114,7	1106,0
PL [%]	2,71	3,74	5,37	2,98	4,16
zk. těleso č.	33	36	39	42	45
w_1 [g]	1143,8	1148,9	1129,9	1153,0	1134,7
w_2 [g]	1090,0	1114,3	1065,2	1075,1	1090,8
PL [%]	4,70	3,01	5,73	6,76	3,87
ϕPL [%]	3,59	3,38	5,46	6,27	3,97

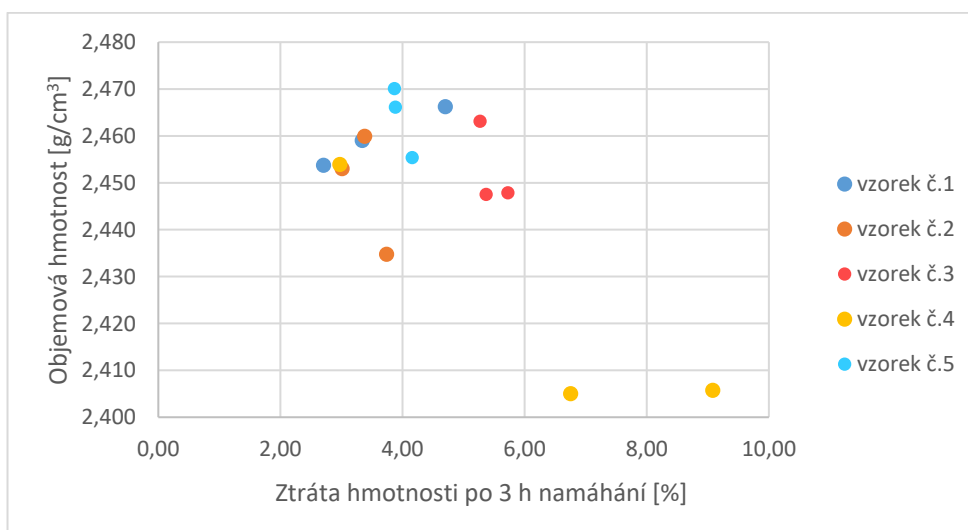
Tabulka 8 – Výsledky zkoušky ztráty částic zkušebního tělesa po 3 h namáhání v separačním činidle



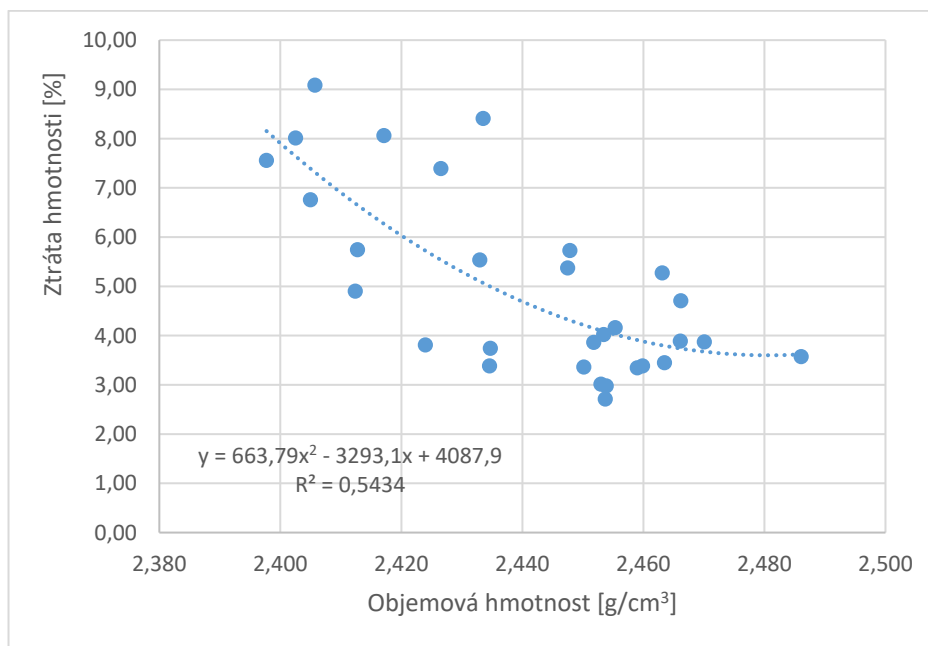
doba namáhání: 24 h	Separátor č.1	Separátor č.2	Separátor č.3	Separátor č.4	Separátor č.5
zk. těleso č.	46	49	52	55	58
w ₁ [g]	1151,6	1144,2	1153,2	1153,1	1150,1
w ₂ [g]	1111,9	1098,2	1089,4	1086,9	1053,4
PL [%]	3,45	4,02	5,53	5,74	8,41
zk. těleso č.	47	50	53	56	59
w ₁ [g]	1144,5	1150,7	1135,0	1144,6	1160,9
w ₂ [g]	1105,8	1109,6	1079,4	1052,9	1075,1
PL [%]	3,38	3,57	4,90	8,01	7,39
zk. těleso č.	48	51	54	57	60
w ₁ [g]	1152,3	1145,4	1145,3	1142,3	1150,1
w ₂ [g]	1113,6	1101,2	1101,7	1056,0	1057,4
PL [%]	3,36	3,86	3,81	7,55	8,06
ϕPL [%]	3,4	3,8	4,7	7,1	8,0

Tabulka 9 – Výsledky zkoušky ztráty částic zkušebního tělesa po 24 h namáhání v separačním čínidle

Výsledky v tabulce 8 a v tabulce 9, které jsou uvedeny výše, se sice od sebe navzájem relativně liší, a i vzhledem k referenčnímu tělesu by se na první pohled mohlo zdát, že charakterizují vliv separátorů na asfaltovou směs. Ovšem po porovnání s ostatními provedenými zkouškami (s Marshallovou zkouškou a zkouškou odolnosti proti pohonným hmotám) bylo patrné, že výsledky jednotlivých zkoušek spolu nekorespondují. Například tělesa namáhaná v separátoru č.5 měla po otlučení v bubnu hmotnostní ztrátu 8 %, ale po kartáčování 0 %. Po zamyšlení jsem došla k předpokladu, že tato zkouška je pravděpodobně ovlivněna mírou zhutnění zkušebních těles. Vytvořila jsem si tedy graf 1 znázorňující závislost objemové hmotnosti a ztráty částic zkušebního tělesa, který tento předpoklad potvrzuje.



Graf 1 – Vliv objemové hmotnosti na ztrátu hmotnosti zkušebního tělesa



Graf 2 – Polynomická regresní křivka

Index korelace $\sqrt{R^2}$ je tedy 0,74, což vyjadřuje poměrně silnou závislost mezi těmito veličinami.



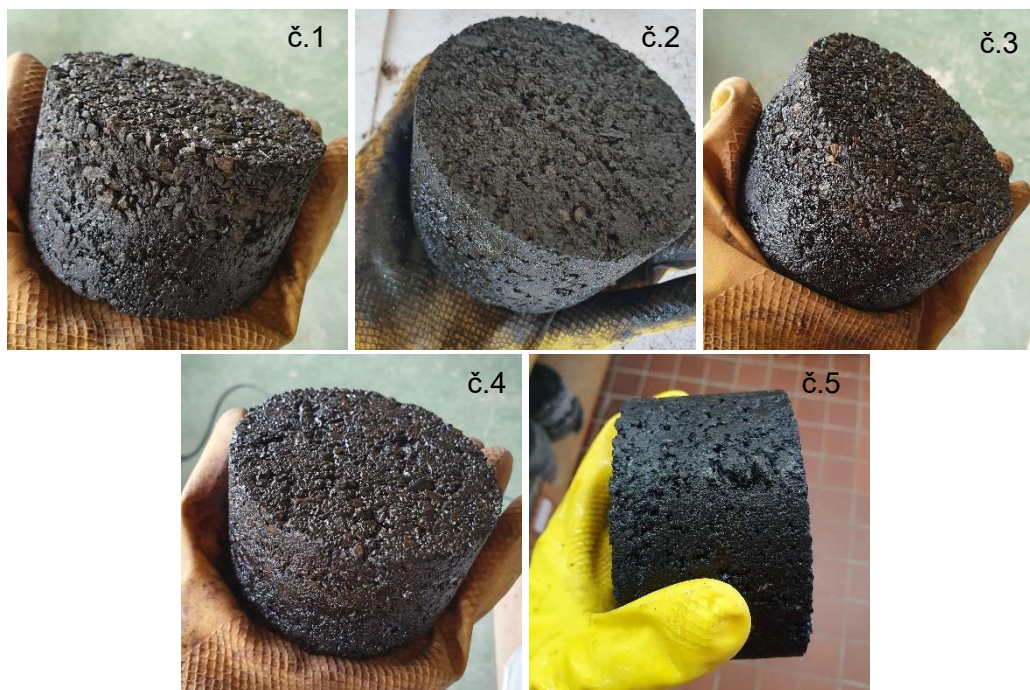
Obrázek 29 – Zkušební tělesa po zkoušce v otlukovém bubnu [20]

Zkušební tělesa byla po zkoušce otlučena především na ostrých hranách, některá měla lehce otlučeny i ploché obvod viz obrázek 29.

6.6 Odolnost proti působení pohonných hmot

Odolnost asfaltové směsi vůči negativním vlivům zkoušených separačních činidel lze vyhodnotit na základě hmotnostní ztráty zkušebního tělesa.

Po vyjmutí zkušebních těles z kádinky byly vidět znatelné rozdíly. Už po 3 h namáhání byla u některých těles znatelná hrana, po kterou bylo těleso smáčeno viz obrázek 30.



Obrázek 30 – Viditelná hrana po 3 h namáhání těles v jednotlivých separátorech [20]

Nejviditelnější hrana byla u vzorku č.1 a č.3, pojivo bylo na povrchu těles rozpuštěno, zrna kameniva byla obnažena. Separátor č.5 na zkušebních tělesech nezanechal žádný náznak degradace pojiva.



Pro každé těleso byly v této zkoušce určeny jednotlivé hmotnosti m_1 – hmotnost před ponořením do separátoru, m_2 – hmotnost po vyjmutí a sušení, m_3 – hmotnost po prvním kartáčování, m_4 – hmotnost po druhém kartáčování a m_5 – hmotnost po třetím kartáčování, na jejichž základě byly vypočteny následující parametry: A – ztráta hmotnosti po namáhání v separátoru, B – ztráta hmotnosti po zkoušce kartáčováním, C – celková ztráta hmotnosti.

referenční směs	
$\rho_{b,SSD}$ [g/cm ³]	2,439
V_m [%]	6,2
m_1 [g]	1152,5
m_2 [g]	1152,5
m_3 [g]	1152,4
m_4 [g]	1152,2
m_5 [g]	1151,7
A [%]	0,0
B [%]	0,1
C [%]	0,1

Tabulka 10 – Výsledky zkoušky odolnosti proti působení pohonných hmot nenamáhané směsi



Obrázek 31 – Zkušební tělesa po 3 sériích kartáčování namáhána v separátorech 3 h [20]



doba namáhání: 3 h	Separátor č.1	Separátor č.2	Separátor č.3	Separátor č.4	Separátor č.5
zk. těleso č.	61	64	67	70	73
m_1 [g]	1147,4	1147,3	1156,5	1159,3	1149,4
m_2 [g]	1128,9	1145,1	1144,2	1160,5	1150,2
m_3 [g]	1117,6	1142,1	1137,6	1156,7	1149,9
m_4 [g]	1115,4	1139,8	1134,9	1155,8	1149,7
m_5 [g]	1112,3	1139,1	1133,1	1154,8	1149,2
A [%]	1,6	0,2	1,1	-0,1	-0,1
B [%]	1,5	0,5	1,0	0,5	0,1
C [%]	3,1	0,7	2,0	0,4	0,0
zk. těleso č.	62	65	68	71	74
m_1 [g]	1146,8	1159,7	1159,6	1147,6	1157,4
m_2 [g]	1131,0	1158,5	1154,5	1145,2	1158,0
m_3 [g]	1120,6	1155,0	1145,5	1140,7	1157,7
m_4 [g]	1115,5	1153,8	1142,8	1139,2	1157,5
m_5 [g]	1111,6	1152,2	1139,8	1138,1	1157,1
A [%]	1,4	0,1	0,4	0,2	-0,1
B [%]	1,7	0,5	1,3	0,6	0,1
C [%]	3,1	0,6	1,7	0,8	0,0
zk. těleso č.	63	66	69	72	75
m_1 [g]	1151,5	1156,7	1151,7	1160,9	1150,3
m_2 [g]	1137,5	1155,4	1141,9	1161,0	1151,2
m_3 [g]	1128,0	1152,2	1137,0	1157,1	1151,0
m_4 [g]	1121,7	1151,4	1135,3	1156,6	1150,8
m_5 [g]	1120,7	1150,6	1134,1	1156,0	1150,6
A [%]	1,2	0,1	0,9	0,0	-0,1
B [%]	1,5	0,4	0,7	0,4	0,1
C [%]	2,7	0,5	1,5	0,4	0,0
ϕA [%]	1,4	0,1	0,8	0,0	-0,1
ϕB [%]	1,6	0,5	1,0	0,5	0,1
ϕC [%]	2,9	0,6	1,8	0,5	0,0

Tabulka 11 – Výsledky zkoušky odolnosti proti působení pohonných hmot po 3 h namáhání v separačním činidle



doba namáhání: 24 h	Separátor č.1	Separátor č.2	Separátor č.3	Separátor č.4	Separátor č.5
zk. těleso	76	79	82	85	88
m ₁ [g]	1159,0	1153,4	1154,5	1141,0	1158,1
m ₂ [g]	1103,8	1145,6	1101,7	1131,8	1159,9
m ₃ [g]	1072,4	1139,4	1083,2	1123,2	1159,3
m ₄ [g]	1063,3	1136,9	1072,5	1120,4	1158,8
m ₅ [g]	1056,7	1135,4	1066,3	1116,6	1158,4
A [%]	4,8	0,7	4,6	0,8	-0,2
B [%]	4,3	0,9	3,2	1,3	0,1
C [%]	8,8	1,6	7,6	2,1	0,0
zk. těleso	77	80	83	86	89
m ₁ [g]	1150,2	1158,5	1160,7	1151,0	1146,9
m ₂ [g]	1118,0	1155,8	1122,7	1141,8	1148,7
m ₃ [g]	1099,6	1149,4	1109,0	1131,1	1148,4
m ₄ [g]	1093,0	1146,9	1100,8	1126,9	1148,1
m ₅ [g]	1088,7	1144,9	1098,7	1123,8	1147,7
A [%]	2,8	0,2	3,3	0,8	-0,2
B [%]	2,6	0,9	2,1	1,6	0,1
C [%]	5,3	1,2	5,3	2,4	-0,1
zk. těleso	78	81	84	87	90
m ₁ [g]	1132,8	1151,0	1147,4	1149,7	1141,6
m ₂ [g]	1101,0	1142,9	1110,8	1142,1	1142,0
m ₃ [g]	1085,1	1137,4	1097,3	1137,3	1141,7
m ₄ [g]	1078,2	1134,2	1094,4	1136,4	1141,5
m ₅ [g]	1076,2	1132,1	1093,1	1134,7	1140,6
A [%]	2,8	0,7	3,2	0,7	0,0
B [%]	2,3	0,9	1,6	0,6	0,1
C [%]	5,0	1,6	4,7	1,3	0,1
φA [%]	3,5	0,5	3,7	0,8	-0,1
φB [%]	3,0	0,9	2,3	1,2	0,1
φC [%]	6,4	1,5	5,9	1,9	0,0

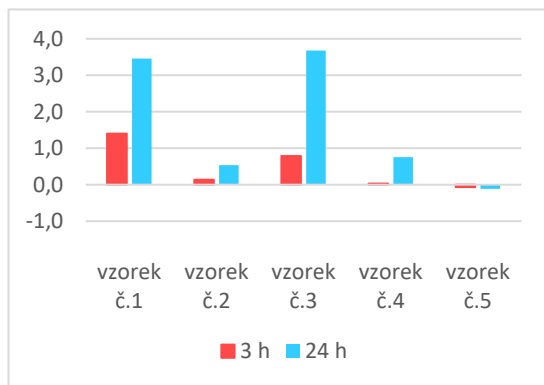
Tabulka 12 – Výsledky zkoušky odolnosti proti působení pohonných hmot po 24 h namáhání v separačním činidle

Parametrem A je popsána ztráta hmotnosti pouze po ponoření do separačního činidla. Nejhůře vyšel separátor č.1 (nafta), což bylo očekávané. Hmotnostní úbytek zkoušených těles po 3 h namáhání byl 1,4 %, po 24 h 3,5 %. Hodně podobně dopadl separátor č.3, hmotnostní úbytek zkušebních těles po 3 h namáhání byl 0,8 %, po 24 h 3,7 %. Zajímavé je, že separátor č.2, který má obdobné procentuální zastoupení metylesterů jako separátor č.3 vyšel mnohem lépe.

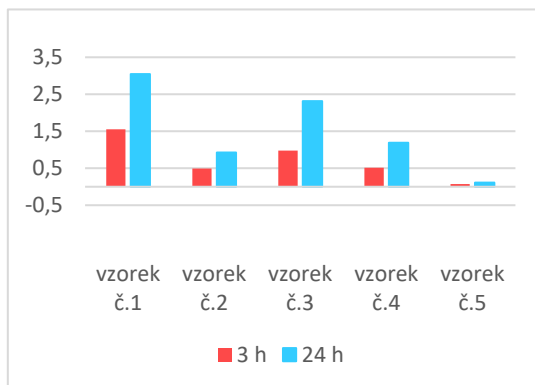


Zkušební tělesa, která byla namáhána v separátoru č.5, naopak na hmotnosti lehce nabyly, vstřebala separační činidlo na bázi glycerolu. Kádinka se separátorem č.5 byla, po vyjmutí zkušebního tělesa, čistá a separátor měl svou původní konzistenci i barvu.

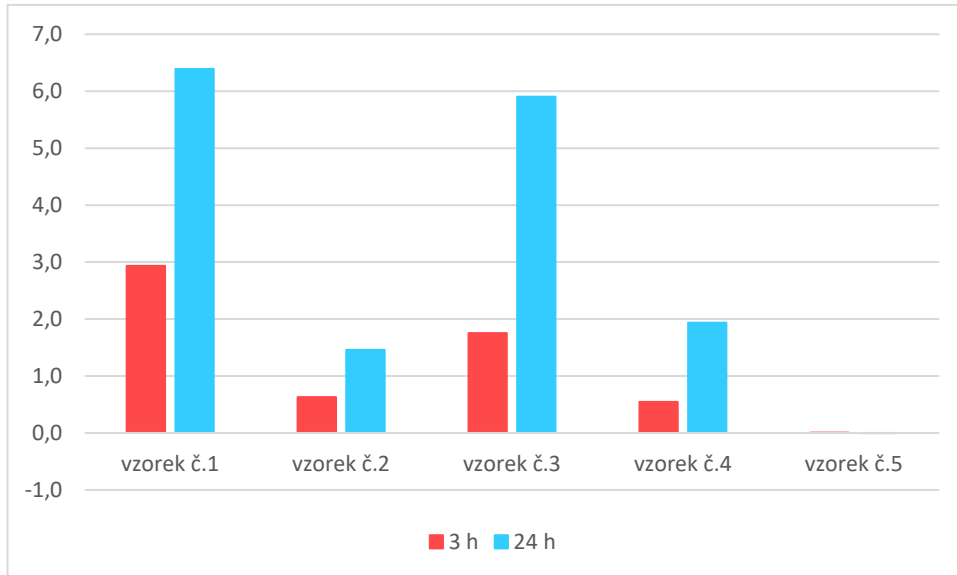
Parametrem B je popsána ztráta hmotnosti po mechanickém namáhání zkušebních těles kartáčováním. Opět nejhůře dopadla tělesa namáhaná v separátoru č.1 a č.3.



Graf 3 – Ztráta hmotnosti po ponoření tělesa do separátoru



Graf 4 – Ztráta hmotnosti po zkoušce kartáčováním



Graf 5 – Celková ztráta hmotnosti (kombinace namáhání)



6.7 Shrnutí výsledků

Marshallova zkouška i zkouška ztráty částic zkušebního tělesa se pro posuzování vlivu separačních činidel na mechanické vlastnosti asfaltových směsí ukázaly jako nevhodné.

Naopak zkouška odolnosti proti působení pohonných hmot, v této práci odolnosti proti působení separačních činidel, se ukázala jako vhodná. Na základě jejích výsledků lze vyhodnotit jakou mírou separátor degraduje asfaltovou směs (např. vzhledem k naftě, která je pro separaci zakázána). Z grafu 5 je viditelné, že doba působení některých separátorů na zkušební těleso výsledky ovlivní. Tudíž pokud směs v praxi přijde do kontaktu s nadměrným množstvím těchto látek v důsledku porušení technologické kázně viz kapitola 4.2, bude úsek vozovky zhotovený z této asfaltové směsi poruchový.

Navzdory tomu, že separátory č.2 a č.3 jsou oba na bázi metylesterů, mají poměrně odlišné výsledky. Z toho lze vyvodit, že receptura separačního prostředku, tedy základní surovina a poměry jednotlivých složek, je pro výslednou vhodnost použití zásadní. Myslím si tedy, že by bylo vhodné zvážit, zda by tyto prostředky, před uvedením na trh, neměly projít předem definovanými zkouškami.



7 Závěr

V současné době se u nás pro separaci asfaltových směsí používají především separační činidla na bázi rozpouštědel. Svojí funkci plní, ale vzhledem k tomu, že při jejich aplikaci hraje významnou roli lidský faktor (tudíž často dochází k porušení technologické kázně), může jejich používání vést k poruchám konstrukce vozovky.

Jedním z hlavních cílů teoretické části této práce bylo seznámit se s problematikou separace asfaltových směsí. Toto téma je rozebráno v kapitole č. 4, která se věnuje jak druhům separačních činidel, tak poruchám, které jsou spojeny právě s nedodržením technologické kázně při jejich aplikaci.

Myslím si, že prozatím je nejdůležitějším krokem proškolení řidiče, kteří asfaltové směsi přepravují. Vysvětlit jim, jak separace funguje a proč je důležité, aby při aplikaci separátoru dodrželi přednastavené dávkování. Tím by se předešlo poruchám vozovkových vrstev způsobených separačními činidly.

Cílem praktické části této práce bylo zhodnotit funkčnost vybraných vzorků separačních činidel, ta je popsána v kapitole č. 6.1. Dále bylo cílem posoudit vhodnost vybraných zkušebních metod, pro posuzování vlivu separátorů na mechanické vlastnosti asfaltových směsí. Postup zvolených metodik je popsán v kapitolách č. 5.6 – 5.8. Zhodnocení vhodnosti těchto zkoušek je v kapitole č. 6.4. Jako vhodná metoda se pro tyto účely prokázala pouze zkouška odolnosti proti působení pohonných hmot.

Po celkovém zhodnocení je jasné, že separátor č.5 je pro separaci nejvhodnější. Pojivo nijak nerozpouští a jeho výroba je ekonomicky výhodná, jelikož se vyrábí z vedlejšího produktu průmyslových procesů – glycerolu. Nafta – separátor č.1 – se potvrdila jako nevhodná.



8 Seznam použitých zdrojů

- [1] ZAJÍČEK, Jan a kolektiv: Technologie stavby vozovek, Praha: Informační centrum CKAIT 2014, ISBN 978-80-87438-59-6.
- [2] Towzingar - Asphalt Plant [online]. Towzingar Company, [citace 27.4.2019] Dostupné z: <http://www.towzingar.com/En/Towzingar-AsphaltPlant.html>
- [3] Asphalt-production [online]. WIRTGEN GROUP Holding GmbH, Ltd. [citace: 10.04.2019] Dostupné z: <https://www.benninghoven.com/en/technologies/asphalt-production/>
- [4] TKP 7. Hutněné asfaltové vrstvy. 2008.
- [5] Technologie obaloven [online]. Ammann group, [citace: 10.4.2019] Dostupné z: <http://www.ammann.com/cz-cz/asphalt-plants-tech>
- [6] Asphalt Drum Mix Plant [online]. Aimix Group, [citace 30.4.2019] Dostupné z: <https://aimixasphaltplant.com/asphalt-drum-mix-plant/>
- [7] Secador mezclador de contraflujo UniDrum® de Dillman [online]. Astec Industries, Inc. [citace: 30.4.2019] Dostupné z: <https://es.astecinc.com/products/drying-mixing/dillman-unidrum-counterflow-dryer-mixer.html>
- [8] HANZÍK, Václav a kolektiv: Pokládka hutněných asfaltových směsí revidované a rozšířené vydání s počítačovým programem, Praha: Sdružení pro výstavbu silnic 2015, ISBN 978-80-903925-6-4.
- [9] HANZÍK, Václav a MONDSCHHEIN, Petr. Pokládka hutněných asfaltových směsí. In: Školení STEPS 7 [online]. Dostupné z: <http://www.sdruzeni-silnice.cz/Odborne-akce-cln294.aspx>
- [10] Fliegl Baukom [online]. Výzkumy v oblasti výroby a zpracování asfaltových směsí. [citace: 29.4.2019] Dostupné z: <https://fliegl-baukom.de/downloads/150/1679/973/>
- [11] Product Overview [online]. Fliegl Baukom [citace: 1.5.2019] Dostupné z: <https://www.fliegl-baukom.de/asw-asphaltprofi-thermo/150/4747/4719>
- [12] NEVRKLA, Vlastimil: Separace ložných ploch při manipulaci s asfaltovou směsí. [online]. Dostupné z: <http://www.asfaltove-vozovky.cz/av2017/>
- [13] Informace získané rozhovory s Ing. Vlastimilem Nevrlou, jednatelem s polečností Environ, s.r.o.
- [14] Bionafta (FAME) – náhrada za fosilní naftu. [online]. [citace: 5.5.2019] Dostupné z: http://kfch.upce.cz/htmls/vedecka_cinnost_bionafta.htm
- [15] Mikhailenko, Peter & Ringot, Erick & Bertron, Alexandra & Escadeillas, G. (2015). Determination of the performance and damage to asphalt of bio-sourced asphalt release agents (ARAs) Part I: Developing test methods. Materials and Structures. 10.1617/s11527-015-0585-7. Dostupné z:



- <https://www.researchgate.net/publication/273006036> Determination of the performance and damage to asphalt of bio-sourced asphalt release agents ARAs Part I Developing test methods
- [16] Co je glycerin? [online]. ACE TRADE. [citace: 10.5.2019] Dostupné z: <http://www.glycerin.cz/>
- [17] Mikhailenko, Peter & Bertron, Alexandra & Ringot, Erick. (2015). Determination of the performance and damage to asphalt of bio-sourced asphalt release agents (ARAs) Part II: evaluation of biodegradable products for use as ARAs and bitumen removers (BRs). *Materials and Structures*. 49. 10.1617/s11527-015-0663-x. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/280094350> Determination of the performance and damage to asphalt of bio-sourced asphalt release agents ARAs Part II evaluation of biodegradable products for use as ARAs and bitumen removers BRs
- [18] Mikhailenko, Peter & Bertron, Alexandra & Nyame Mendendy Boussambe, Gildas & Valentin, Romain & Mouloungui, Zéphirin & Ringot, Erick. (2018). Recycled bio-sourced glycerol and diglycerol for asphalt release agents (ARA). *Road Materials and Pavement Design*. 1-16. 10.1080/14680629.2018.1484382. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/325675864> Recycled bio-sourced glycerol and diglycerol for asphalt release agents ARA
- [19] KOLENA, Jiří a ŠIMÁČEK, Pavel. Glycerin – odpad z výroby FAME, nebo cenný produkt?. [online]. [citace 15.5.2019] Dostupné z: http://www.petroleum.cz/upload/aprochem2009_190.pdf
- [20] Kovačová, Aneta: Vlastní fotodokumentace, Praha, 2019
- [21] Radar EP-ED Asphalt Release Spray Systém. [online]. Lafferty equipment manufacturing inc. [citace: 20.5.2019] Dostupné z: <https://www.laffertyequipment.com/products/977887/>
- [22] Mikhailenko, Peter & Bertron, Alexandra & Ringot, Erick & Escadeillas, G. (2014). Developing test methods for the determination of the performance and safety of bio-sourced Asphalt Release Agents (ARAs). *Asphalt Pavements - Proceedings of the International Conference on Asphalt Pavements, ISAP 2014*. 2. 10.1201/b17219-208. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/260087018> Developing test methods for the determination of the performance and safety of bio-sourced Asphalt Release Agents ARAs/citations
- [23] ČSN EN 12697-30 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem. 2012.
- [24] ČSN EN 12697-6 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa. 2012.



- [25] ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti. 2010.
- [26] ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí. 2004.
- [27] ČSN EN 12697-34 - Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 34: Marshallova zkouška. 2012.
- [28] ČSN EN 12697-17 - Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 17: Ztráta částic zkušebního tělesa asfaltového koberce drenážního. 2017.
- [29] ČSN EN 12697-43 – Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 43: Odolnost proti působení pohonných hmot. 2014.



9 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Schéma stacionární šaržové obalovny [2].....	10
Obrázek 2 – Dávkování jednotlivých frakcí kameniva [3].....	10
Obrázek 3 – Sušící buben [3].....	11
Obrázek 4 – Detail horkého třídění [3].....	11
Obrázek 5 – Dvuhřídelová míchačka [5].....	12
Obrázek 6 – Schéma kontinuální obalovny [6].....	13
Obrázek 7 – Schéma výroby kontinuální obalovny [7].....	13
Obrázek 8 – Průběh ochlazování směsi v závislosti na době jízdy [9].....	15
Obrázek 9 – Ochlazená vrstva asfaltové směsi [10].....	16
Obrázek 10 – Vytlačování asfaltové směsi ve stísněných prostorech [11].....	16
Obrázek 11 – Nomogram pro stanovení počtu dopravních prostředků stejné kapacity [9].....	17
Obrázek 12 – Schéma esterifikace oleje metanolem [14].....	19
Obrázek 13 – Schéma výroby glycerolu z tuku [16].....	19
Obrázek 14 – Lávka, ze které si řidič aplikuje separátor na korbu [20].....	20
Obrázek 15 – Automatický rozprašovací systém [21].....	21
Obrázek 16 – Hypotetická amfifilní struktura glykolové emulze [18].....	22
Obrázek 17 – Princip negativního působení rozpouštědlového separátoru [12]...	22
Obrázek 18 – Jádrový vývrt s viditelným vypoceným asfaltem [13].....	23
Obrázek 19 – „Vypocený“ asfalt na dálnici D3 [13].....	23
Obrázek 20 – Navážka směsi [20]	26
Obrázek 21 – Pomůcky pro výrobu zk. těles (trychtýř, forma, podložka, nástavec) [20].....	26
Obrázek 22 – Otlukový buben [20].....	30
Obrázek 23 – Namáhání zk. tělesa [20].....	31
Obrázek 24 – Ocelový kartáč [20].....	31
Obrázek 25 – Laboratorní míchačka [20].....	32
Obrázek 26 – Železné destičky po zkoušce funkce separačních činidel [20].....	33
Obrázek 27 – Bílé kachličky po zkoušce funkce separačních činidel [20].....	34
Obrázek 28 – Plechy po slide testu jednotlivých separátorů [20].....	35
Obrázek 29 – Zkušební tělesa po zkoušce v otlukovém bubnu [20].....	41



Obrázek 30 – Viditelná hrana po 3 h namáhání těles v jednotlivých separátorech [20].....	42
Obrázek 31 – Zkušební tělesa po 3 sériích kartáčování namáhána v separátorech 3 h [20].....	43
Obrázek 32 – Zkušební těleso namáhané 24 h v separátoru č.1 (vlevo po vyjmutí z kádinky, vpravo po třech sériích kartáčování) [20].....	58
Obrázek 33 – Zkušební těleso namáhané 24 h v separátoru č.2 (vlevo po vyjmutí z kádinky, vpravo po třech sériích kartáčování) [20].....	59
Obrázek 34 – Zkušební těleso namáhané 24 h v separátoru č.3 (vlevo po vyjmutí z kádinky, vpravo po třech sériích kartáčování) [20].....	59
Obrázek 35 – Zkušební těleso namáhané 24 h v separátoru č.4 (vlevo po vyjmutí z kádinky, vpravo po třech sériích kartáčování) [20].....	60
Obrázek 36 – Zkušební těleso namáhané 24 h v separátoru č.5 (vlevo po vyjmutí z kádinky, vpravo po třech sériích kartáčování) [20].....	60



10 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Tabulka popisující vhodnost použití separačního činidla.....	33
Tabulka 2 – Vyhodnocení funkce separačních činidel.....	33
Tabulka 3 – Průměrné objemové hmotnosti a zrnitosti zkušebních těles pro konkrétní zkoušky.....	36
Tabulka 4 – Výsledky Marshallovi zkoušky nenamáhané směsi.....	37
Tabulka 5 – Výsledky Marshallovi zkoušky po 3 h namáhání v separačním činidle.....	37
Tabulka 6 – Výsledky Marshallovi zkoušky po 24 h namáhání v separačním činidle.....	38
Tabulka 7 – Výsledky zkoušky ztráty částic nenamáhané směsi.....	39
Tabulka 8 – Výsledky zkoušky ztráty částic zkušebního tělesa po 3 h namáhání v separačním činidle.....	39
Tabulka 9 – Výsledky zkoušky ztráty částic zkušebního tělesa po 24 h namáhání v separačním činidle.....	40
Tabulka 10 – Výsledky zkoušky odolnosti proti působení pohonných hmot nenamáhané směsi.....	42
Tabulka 11 – Výsledky zkoušky odolnosti proti působení pohonných hmot po 3 h namáhání v separačním činidle.....	44
Tabulka 12 – Výsledky zkoušky odolnosti proti působení pohonných hmot po 24 h namáhání v separačním činidle.....	45
Tabulka 13 – Objemová hmotnost zkušebních těles č. 1 – č. 30.....	56
Tabulka 14 – Objemová hmotnost zkušebních těles č. 31 – č. 60.....	57
Tabulka 15 – Objemová hmotnost zkušebních těles č. 61 – č. 90.....	58
Tabulka 16 – Výpočet maximální objemové hmotnosti.....	58



11 Seznam grafů

Graf 1 – Vliv objemové hmotnosti na ztrátu hmotnosti zkušebního tělesa.....	40
Graf 2 – Polynomická regresní křivka.....	41
Graf 3 – Ztráta hmotnosti po ponoření tělesa do separátoru.....	46
Graf 4 – Ztráta hmotnosti po zkoušce kartáčováním.....	46
Graf 5 – Celková ztráta hmotnosti (kombinace namáhání).....	46



12 Přílohy

zk. těleso	t [°C]	ρ_w [g/cm ³]	m ₁ [g]	m ₂ [g]	m ₃ [g]	$\rho_{b,SSD}$ [g/cm ³]	Marshallova zkouška
1	19,9	0,9983	1150,4	678,3	1155,8	2,405	3 h, Separátor č.1
2	19,9	0,9983	1141,9	683,1	1150,5	2,439	
3	19,9	0,9983	1152,7	678,8	1157,4	2,404	
4	19,9	0,9983	1138,4	672,5	1141,5	2,423	3 h, Separátor č.2
5	19,8	0,9983	1149,7	680,3	1151,0	2,438	
6	19,8	0,9983	1157,6	686,0	1159,2	2,442	
7	19,8	0,9983	1156,2	685,4	1157,6	2,444	3 h, Separátor č.3
8	19,9	0,9983	1154,5	684,3	1155,6	2,445	
9	19,9	0,9983	1138,4	672,5	1141,5	2,423	
10	19,9	0,9983	1145,4	675,3	1154,7	2,385	3 h, Separátor č.4
11	19,9	0,9983	1141,2	677,6	1142,7	2,449	
12	19,9	0,9983	1151,0	680,0	1152,6	2,431	
13	19,9	0,9983	1146,0	684,8	1150,0	2,459	3 h, Separátor č.5
14	19,9	0,9983	1146,6	683,5	1151,5	2,446	
15	19,9	0,9983	1135,5	672,2	1140,5	2,421	
16	19,9	0,9983	1142,0	678,5	1143,3	2,453	24 h, Separátor č.1
17	19,9	0,9983	1139,8	685,0	1140,9	2,496	
18	19,9	0,9983	1141,9	679,6	1143,2	2,459	
19	19,9	0,9983	1148,2	682,1	1155,2	2,423	24 h, Separátor č.2
20	19,9	0,9983	1147,8	679,4	1149,5	2,437	
21	19,9	0,9983	1132,3	673,8	1133,8	2,457	
22	19,9	0,9983	1157,0	685,5	1158,0	2,445	24 h, Separátor č.3
23	19,9	0,9983	1144,7	678,9	1146,1	2,446	
24	19,9	0,9983	1150,3	691,1	1151,4	2,495	
25	19,9	0,9983	1151,3	685,5	1152,4	2,462	24 h, Separátor č.4
26	19,9	0,9983	1148,1	678,7	1150,1	2,431	
27	19,9	0,9983	1148,8	679,5	1150,7	2,434	
28	19,8	0,9983	1144,9	676,3	1146,8	2,429	24 h, Separátor č.5
29	19,8	0,9983	1142,4	679,5	1143,5	2,458	
30	19,8	0,9983	1149,4	679,3	1151,1	2,432	

Tabulka 13 – Objemová hmotnost zkušebních těles č. 1 – č. 30



zk. těleso	t [°C]	ρ_w [g/cm ³]	m ₁ [g]	m ₂ [g]	m ₃ [g]	$\rho_{b,SSD}$ [g/cm ³]	Ztráta částic
31	19,9	0,9983	1151,3	684,9	1152,3	2,459	3 h, Separátor č.1
32	19,9	0,9983	1150,3	682,8	1150,8	2,454	
33	19,9	0,9983	1143,8	681,7	1144,7	2,466	
34	20,6	0,9982	1147,2	683,1	1148,6	2,460	3 h, Separátor č.2
35	20,6	0,9982	1141,4	682,8	1150,8	2,435	
36	20,6	0,9982	1148,9	682,7	1150,2	2,453	
37	19,9	0,9983	1147,8	683,5	1148,7	2,463	3 h, Separátor č.3
38	19,9	0,9983	1146,9	680,7	1148,5	2,448	
39	19,9	0,9983	1129,9	671,4	1132,2	2,448	
40	19,9	0,9983	1150,7	678,3	1155,8	2,406	3 h, Separátor č.4
41	19,9	0,9983	1148,9	683,1	1150,5	2,454	
42	19,9	0,9983	1153,0	678,8	1157,4	2,405	
43	19,8	0,9983	1143,0	683,0	1145,7	2,466	3 h, Separátor č.5
44	19,8	0,9983	1154,0	686,6	1155,8	2,455	
45	19,8	0,9983	1134,7	677,2	1135,8	2,470	
46	20,6	0,9982	1151,6	685,4	1152,0	2,464	24 h, Separátor č.1
47	19,9	0,9983	1144,5	676,5	1145,8	2,435	
48	19,9	0,9983	1152,3	683,7	1153,2	2,450	
49	20,6	0,9982	1144,2	679,3	1144,8	2,453	24 h, Separátor č.2
50	20,6	0,9982	1150,7	689,2	1151,2	2,486	
51	20,6	0,9982	1145,4	680,0	1146,3	2,452	
52	19,7	0,9983	1153,2	682,1	1155,3	2,433	24 h, Separátor č.3
53	19,7	0,9983	1135,0	670,0	1139,7	2,412	
54	19,7	0,9983	1145,3	675,8	1147,5	2,424	
55	19,9	0,9983	1153,1	680,4	1157,5	2,413	24 h, Separátor č.4
56	19,9	0,9983	1144,6	675,9	1151,5	2,403	
57	19,9	0,9983	1142,3	674,2	1149,8	2,398	
58	19,9	0,9983	1150,1	680,4	1152,2	2,434	24 h, Separátor č.5
59	19,9	0,9983	1160,9	686,0	1163,6	2,427	
60	19,9	0,9983	1150,1	678,8	1153,8	2,417	

Tabulka 14 – Objemová hmotnost zkušebních těles č. 31 – č. 60



zk. těleso	t [°C]	ρ_w [g/cm ³]	m ₁ [g]	m ₂ [g]	m ₃ [g]	$\rho_{b,SSD}$ [g/cm ³]	Odolnost proti působení pohonných hmot
61	19,8	0,9983	1147,4	680,8	1149,1	2,446	3 h, Separátor č.1
62	19,9	0,9983	1146,8	679,7	1148,9	2,440	
63	19,9	0,9983	1151,5	683,5	1152,5	2,451	
64	19,8	0,9983	1147,3	681,1	1148,6	2,450	3 h, Separátor č.2
65	19,9	0,9983	1159,7	690,5	1160,6	2,463	
66	19,9	0,9983	1156,7	686,4	1157,8	2,450	
67	19,8	0,9983	1156,5	685,8	1158,6	2,442	3 h, Separátor č.3
68	19,9	0,9983	1159,6	679,3	1155,8	2,429	
69	19,9	0,9983	1151,7	684,1	1152,4	2,455	
70	19,7	0,9983	1159,3	684,5	1160,9	2,429	3 h, Separátor č.4
71	19,7	0,9983	1147,6	680,1	1149,0	2,443	
72	19,7	0,9983	1160,9	686,1	1162,2	2,434	
73	19,8	0,9983	1149,4	680,4	1150,8	2,439	3 h, Separátor č.5
74	20,6	0,9982	1157,4	684,7	1159,0	2,436	
75	20,6	0,9982	1150,3	678,8	1153,5	2,419	
76	19,9	0,9983	1159,0	682,9	1166,5	2,393	24 h, Separátor č.1
77	19,9	0,9983	1150,2	679,3	1158,5	2,396	
78	19,9	0,9983	1132,8	669,4	1135,6	2,426	
79	19,9	0,9983	1153,4	684,2	1154,3	2,449	24 h, Separátor č.2
80	20,6	0,9982	1158,5	683,3	1161,6	2,418	
81	19,9	0,9983	1151,0	686,1	1152,7	2,463	
82	19,9	0,9983	1154,5	681,1	1161,0	2,402	24 h, Separátor č.3
83	20,6	0,9982	1160,7	687,0	1163,0	2,434	
84	19,9	0,9983	1147,4	682,6	1149,8	2,452	
85	19,9	0,9983	1141,0	674,8	1142,9	2,433	24 h, Separátor č.4
86	19,9	0,9983	1151,0	682,3	1152,1	2,446	
87	19,9	0,9983	1149,7	684,6	1151,1	2,460	
88	20,6	0,9982	1158,1	684,3	1162,7	2,416	24 h, Separátor č.5
89	19,9	0,9983	1146,9	676,1	1150,4	2,414	
90	19,9	0,9983	1141,6	679,1	1142,7	2,458	

Tabulka 15 – Objemová hmotnost zkušebních těles č. 61 – č. 90

1. Separátor		2. Separátor	
ρ_w	0,9985 g/cm ³	ρ_w	0,9985 g/cm ³
V_p	1321,23 cm ³	V_p	1305,72 cm ³
m_1	690,4 g	m_1	699,6 g
m_2	1620,1 g	m_2	1653,9 g
m_3	2585,1 g	m_3	2588,6 g
$\rho_{mw,1}$	2,621 g/cm ³	$\rho_{mw,2}$	2,582 g/cm ³
$\rho_{mw} = 2,601 \text{ g/cm}^3$			

Tabulka 16 – Výpočet maximální objemové hmotnosti



Obrázek 32 – Zkušební těleso namáhané 24 h v separátoru č.1
(vlevo po vyjmutí z kádinky, vpravo po třech sériích kartáčování) [20]



Obrázek 33 – Zkušební těleso namáhané 24 h v separátoru č.2
(vlevo po vyjmutí z kádinky, vpravo po třech sériích kartáčování) [20]



Obrázek 34 – Zkušební těleso namáhané 24 h v separátoru č.3
(vlevo po vyjmutí z kádinky, vpravo po třech sériích kartáčování) [20]



Obrázek 35 – Zkušební těleso namáhané 24 h v separátoru č.4
(vlevo po vyjmutí z kádinky, vpravo po třech sériích kartáčování) [20]



Obrázek 36 – Zkušební těleso namáhané 24 h v separátoru č.5
(vlevo po vyjmutí z kádinky, vpravo po třech sériích kartáčování) [20]