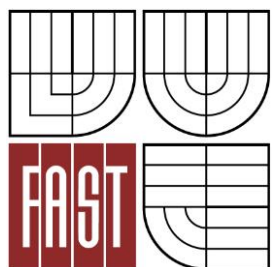




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

RECYKLACE ASFALTOVÝCH SMĚSÍ - VARIABILITA VSTUPNÍCH PARAMETRŮ R-MATERIÁLU

RECYCLING OF ASPHALT MIXTURES - VARIABILITY OF RAP - PARAMETERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN TUHÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|--------------------------------|---|
| Studijní program | B3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Bakalářský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby |
| Pracoviště | Ústav pozemních komunikací |

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

| | |
|---|---|
| Student | Martin Tuháček |
| Název | Recyklace asfaltových směsí - variabilita vstupních parametrů R-materiálu |
| Vedoucí bakalářské práce | doc. Dr. Ing. Michal Varaus |
| Datum zadání bakalářské práce | 30. 11. 2014 |
| Datum odevzdání bakalářské práce | 29. 5. 2015 |
| V Brně dne 30. 11. 2014 | |

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

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

Podklady a literatura

ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály -Část 1: Asfaltový beton

ČSN EN 13108-8 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály -Část 8: R-materiál
Recyklace asfaltových vozovek – poznatky Asociace výrobců asfaltových směsí
EAPA (European Asphalt Pavement Association), Brussels 2012

Zásady pro vypracování

Cílem práce je provést dle dostupné domácí a zahraniční literatury vstupní zkoušky parametrů R-materiálu odebraného na obalovně a na základě těchto informací odvodit jeho maximální možné dávkování do za horka vyráběných asfaltových směsí.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).
- 3.

.....

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou využívání R-materiálu při výrobě nových asfaltových směsí. V teoretické části práce jsou popsány metody recyklace asfaltových směsí. Praktická část se zaměřuje na maximální procentuální přidávané množství R-materiálu do nových asfaltových směsí. Konkrétně jsou zjišťovány mechanicko-fyzikální vlastnosti extrahovaného pojiva a křivky zrnitosti extrahovaného kameniva. Na základě provedených zkoušek je následně provedena klasifikace R-materiálu a je ověřena variabilita parametrů R-materiálu. Maximální možné procentuální přidané množství R-materiálu se stanoví právě z rozsahu parametrů dílčích charakteristik. Reprezentativní vzorky materiálu jsou odebrány ze dvou obaloven, referenční zrnitosti kameniva jsou 0/11 a 0/22.

KLÍČOVÁ SLOVA

R – materiál, recyklace asfaltových směsí, homogenita, recyklace za horka na obalovně, stanovení maximálního množství R - materiálu

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on RAP material (Reclaimed asphalt pavement), particularly on its characteristics and usage while producing hot mix asphalt at plant. The theoretical part thoroughly describes different fields of application of RAP, these include both the hot and cold recycling. The practical part, on the other hand, essentially covers the problem of using the maximum feasible amount of RAP in hot mix asphalt mixtures; mechanical and psychical properties of a binder and aggregate grading curves are evaluated. On the basis of the testing results, the classification of RAP is undertaken. Moreover, the variability of RAP characteristics is assessed and compared within two various plants. Therefore, the maximum amount of RAP added is based on the very deviation of each characteristic. Representative samples were of two sizes – 0/11 and 0/22.

KEYWORDS

RAP material, recycling of asphalt mixtures, homogeneity, hot recycling the mixing plant, determine the maximum amount of R - material

Bibliografická citace VŠKP

Martin Tuháček *Recyklace asfaltových směsí - variabilita vstupních parametrů R-materiálu*. Brno, 2015. 60 s., 14 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus.

Prohlášení:

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

V Brně dne 29.5.2015

.....
podpis autora
Martin Tuháček

Rád bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi za jeho profesionální přístup, cenné rady, poskytnuté materiály a také ochotu a čas, které mi věnoval během vypracování této práce. Rád bych také poděkoval Ing. Tomáši Koudelkovi za pomoc při provádění zkoušek, poskytnuté materiály a rady, jež mi poskytl. Dále bych poděkoval zaměstnancům školní laboratoře VUT FAST v Brně a laboratoře BRANT za jejich ochotu a rady při práci. V neposlední řadě nemohu zapomenout na svoji rodinu, která mě podporovala po celou dobu studia.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| OBSAH | 8 |
| 1 ÚVOD | 10 |
| 2 CÍL PRÁCE | 12 |
| 3 TEORETICKÁ ČÁST | 12 |
| 3.1 Způsoby recyklace netuhých vozovek | 12 |
| 3.1.1 Recyklace za studena na místě | 14 |
| 3.1.2 Recyklace v míchacím centru za studena | 17 |
| 3.1.3 Recyklace za horka na místě | 18 |
| 3.1.4 Recyklace za horka na obalovně | 21 |
| 3.2 Recyklace s vyšším obsahem R-materiálu | 27 |
| 3.3 Homogenita | 27 |
| 3.4 Stanovení maximálního množství R – materiálu | 28 |
| 3.4.1 Numerické řešení | 28 |
| 3.4.2 Grafické řešení | 29 |
| 3.4.3 Příklad stanovení max. možného přidání R - materiálu | 31 |
| 4 PRAKTICKÁ ČÁST | 33 |
| 4.1 Použité zkušební metody | 33 |
| 4.1.1 Odběr vzorků | 33 |
| 4.1.2 Homogenizace a dělení vzorků | 34 |
| 4.1.3 Znovuzískání extrahovaného pojiva | 35 |
| 4.1.4 Stanovení bodu měknutí metodou kroužek a kulička | 38 |
| 4.1.5 Stanovení penetrace jehlou | 40 |
| 4.1.6 Sítový rozbor | 41 |
| 5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY | 43 |

| | | |
|-----------|----------------------------------|-----------|
| 6 | ZÁVĚR A DOPORUČENÍ | 51 |
| 7 | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 53 |
| 8 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 55 |
| 9 | SEZNAM TABULEK | 57 |
| 10 | SEZNAM GRAFŮ | 58 |
| 11 | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK | 59 |
| 12 | SEZNAM PŘÍLOH | 60 |

1 ÚVOD

Jedním z prostředků ochrany životního prostředí je recyklace různých materiálů. Recyklací je chápáno nakládání s odpadem, které vede k jeho dalšímu využití. V silničním stavitelství dochází při obnově vozovek ke vzniku mnoha tun materiálu, který lze opětovně použít jako druhotnou surovinu.

Materiál, který se získá odfrézováním nebo vybouráním a následným drcením asfaltových vozovek, se označuje jako R- materiál. Ten se může přidávat do nových zpracovávaných směsí metodou za horka, ale i za studena.

Recyklace asfaltových vozovek se provádí za účelem snížení nákladů na výstavbu, neměla by však mít vliv na dosažení požadované kvality a životnosti vozovek.

Jelikož světové zásoby přírodních zdrojů (ropy a kvalitního kameniva) nejsou nevyčerpatelné, a zároveň roste cena těchto primárních zdrojů, bude v budoucnosti recyklace v silničním stavitelství nutností. Recyklované směsi tedy pomohou snížit náklady při budování či rekonstrukci silnic, zároveň však omezí množství materiálu odkládaného na skládkách.

Hlavní důvody pro recyklaci asfaltových vrstev jsou uvedeny v následujícím přehledu:

- **Zachování materiálových a energetických zdrojů**
 - materiálové zdroje (kamenivo, asfalt)
 - energetické zdroje (pohonné hmoty, topná média atd.)
- **Ochrana životního prostředí**
 - redukce skleníkových plynů, zejména CO₂
 - omezení skládek
- **Ekonomický přínos**
 - snížení nákladů
 - snížení zatížení komunikací

Ve srovnání s většinou západoevropských zemí Česká republika zaostává ve využívání R – materiálu. Aby došlo i u nás k většímu využívání recyklovaného materiálu, bude třeba přesvědčit investory o kvalitě směsí s vyšším obsahem R – materiálu a zlepšit hospodaření s tímto materiálem. Také bude třeba znát lépe původ recyklátu a mít k dispozici účinné mechanismy vedoucí k jeho efektivnějšímu zpracování.

Přitom v případě recyklace v míchacím centru za horka může být výsledná směs při správném zpracování a homogenizaci R – materiálu srovnatelná se směsmi vyráběnými z primárních zdrojů. [1]

Pro přehlednost jsou zde uvedeny předpisy, které jsou potřebné z technického hlediska pro provádění recyklací:

ČSN EN 13242+A1 Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace

ČSN EN 13108-8 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 8: R-materiál

ČSN EN 13285 Nestmelené směsi specifikace

ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací

ČSN EN 14227-1 - 14 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 1 - 14

TP 208 Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena

TP 209 Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek na místě za horka

TP 210 Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací

2 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je provést dle dostupné domácí a zahraniční literatury vstupní zkoušky parametrů R-materiálu odebraného na obalovně. Pro porovnání budou odebrány vzorky ze dvou odlišných obaloven. Výsledkem bude, na základě získaných charakteristik R-materiálu informací, odvodit maximální možné dávkování R – materiálu do za horka vyráběných asfaltových směsí.

Pro stanovení maximálního množství R – materiálu používaného na výrobu asfaltových směsí se zaměříme především na homogenitu. Tu lze porovnat na základě následujících charakteristických hodnot:

- obsah pojiva
- bod měknutí metodou kroužek a kulička
- podíly frakcí z extrahovaného kameniva:
 - 0 až 0,063 mm
 - 0,063 až 2 mm
 - > 2 mm

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Způsoby recyklace netuhých vozovek

Recyklace lze rozdělit podle dvou základních hledisek. Prvním z nich je místo provádění. Recyklace lze provádět na místě nebo v míchacím centru (obalovně). Další způsob dělení je podle zpracování R – materiálu. Ten lze zpracovávat metodami za tepla nebo za studena. Rozeznávají se tedy 4 způsoby provádění: [3]

- recyklace za studena na místě
- recyklace za studena v míchacím centru
- recyklace za horka na místě
- recyklace za horka na obalovně

Vhodnost použití těchto technologií znázorňuje Tabulka 1.

Tabulka 1 - Vhodnost použití recyklačních technologií

| Recyklace | | Kdy je recyklace technicky vhodná | Další podmínky | Dosavadní technické překážky |
|--|---|---|---|---|
| Na místě za studena | celková | Vozovka je natolik porušena (sít'ové trhliny, výtluky, plošné deformace), že je nutná rekonstrukce více vrstev včetně podkladních. <u>Alternativa recyklace:</u> odstranění porušených vrstev a jejich náhrada novými. | Kvalitní diagnostika | Neexistují pravidla pro diagnostiku, použitelná v běžné stavební praxi. Nezájem a neznalost některých správců komunikací, projektantů. |
| | částečná | Kryt vozovky je natolik porušen (hloubková koroze, výtluky, mozaikové trhliny, podélné a příčné trhliny, četné vysprávkky), že je nutná jeho regenerace. Vhodné pro ložní a podkladní vrstvy, obrusné vrstvy jen pro TDZ VI. <u>Alternativa recyklace:</u> porušené vrstvy vyfrézovat a nahradit novými. | Kvalitní diagnostika. Vhodné jen v případě delších souvislých úseků. | Neexistují pravidla pro diagnostiku, použitelná v běžné stavební praxi. Nezájem a neznalost některých správců komunikací, projektantů. |
| Na místě za horka | | Asfaltové vrstvy jsou natolik porušeny (hloubková koroze, výtluky, mozaikové trhliny, podélné a příčné trhliny, četné vysprávkky), že je nutná jejich regenerace. Určeno zejména pro obrusné a ložní vrstvy. | Kvalitní diagnostika. Vhodné jen v případě delších souvislých úseků. | Neexistují pravidla pro diagnostiku, použitelná v běžné stavební praxi. Nezájem a neznalost některých správců komunikací, projektantů. |
| Přímé použití dodaného recyklovaného kameniva | Je vhodné vždy. | | Dostupný zdroj recyklovaného kameniva. | Odmítání ze strany investorů. Nesprávné pojmenování a dokladování od výrobců recyklovaného kameniva. |
| Zpracování recyklovaného materiálu v míchacím centru | <u>Alternativa recyklace:</u> použití přírodního kameniva. | | Cenová výhodnost. | |

3.1.1 Recyklace za studena na místě

Recyklace za studena lze považovat za moderní metodu oprav pozemních komunikací, která má v ČR stále větší opodstatnění. Vzhledem k tomu, že tato metoda je vhodná pro opravu silnic II. a III. tříd, které nejčastěji vykazují známky neúnosnosti konstrukčních vrstev z důvodu nadměrného zatěžování. Hlavními poruchami konstrukčních vrstev jsou: plošná deformace, místní pokles, nepravidelné hrboly, výtluky, olamování okrajů, síťové trhliny, hloubková koroze.

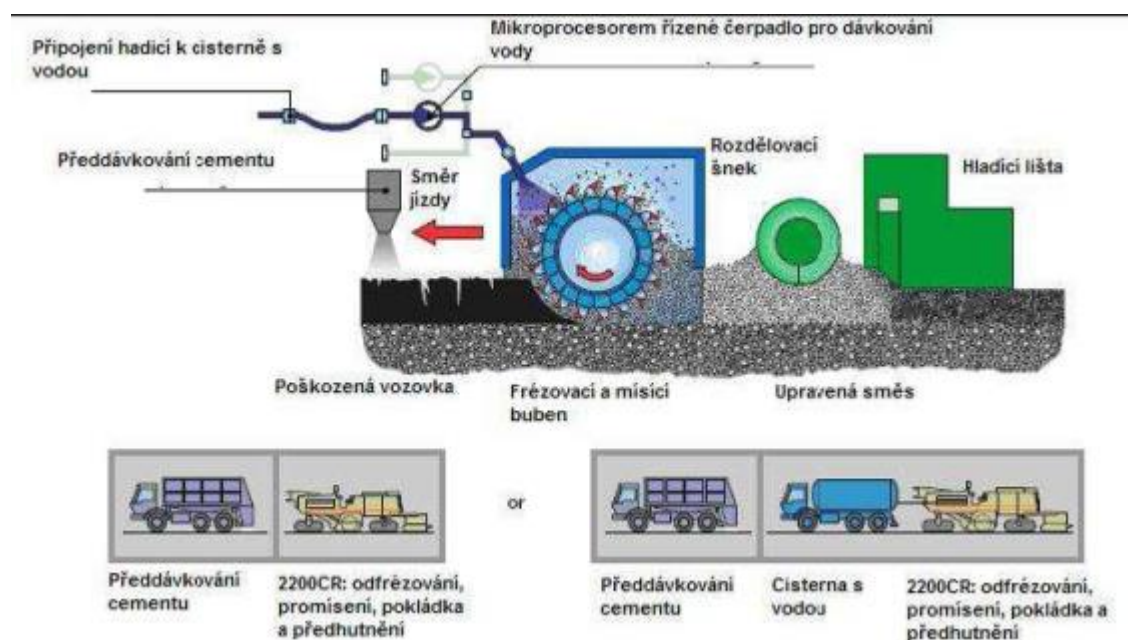
Dle platných předpisů TP 208 - RECYKLACE KONSTRUKČNÍCH VRSTEV NETUHÝCH VOZOVEK ZA STUDENA dělíme recyklace na dva typy: celková a částečná recyklace. Celková recyklace se používá při vyčerpání únosnosti vozovky. Jedná se o společnou recyklaci podkladních a krytových vrstev vozovky. Částečná recyklace je recyklace krytových asfaltových vrstev do hloubky max. 120 mm, kde se jako hlavní složka pojiva používá asfaltová emulze.

Princip celkové recyklace za studena na místě spočívá v rozfrézování původních vrstev vozovky do hloubky 120 až 250 mm a promíchání takto vzniklého materiálu s přidávaným pojivem, přísadami, vodou a případně dalším materiálem (kamenivo) přímo na místě. Pojivem může být cement, asfaltová emulze, pěnový asfalt a různé kombinace těchto složek. Tímto způsobem vznikne nová pokladní nebo ložní vrstva vozovky. Užití recyklovaných vrstev je popsán Tabulka 2. [4]

Tabulka 2 – Užití recyklovaných vrstev s použitím pojiva dle TP 209 [4]

| Vrstva recyklovaná na místě / v míchacím centru | Doporučená třída dopravního zatížení | | |
|---|--------------------------------------|-----------------|------------------|
| | Obrusná vrstva | Ložní vrstva | Podkladní vrstva |
| s použitím cementu nebo jiného hydraulického pojiva | - | - | bez omezení |
| s použitím cementu + asfaltové emulze nebo zpěněného asfaltu | - | V, VI | bez omezení |
| s použitím asfaltové emulze nebo zpěněného asfaltu | - | IV, V, VI | bez omezení |

Nejobvyklejším postupem je předdávkování cementu na poškozenou vozovku distributorem. Množství cementu se stanoví na základě předchozího diagnostického průzkumu a návrhu nové recyklované vrstvy. Na Obrázek 1 je znázorněn postup kde dochází k odfrézování původních vrstev vozovky pomocí recykléru (Obrázek 2 - Sestava recykléru s hladicí lištou a cisternou [6]) společně s cementem a míchání obou složek ve frézovacím a mísícím bubnu. Do bubnu se může dávkovat voda, asfaltová emulze, pěnový asfalt anebo kombinace těchto složek. Následně se směs rozprostře pomocí rozdělovacích šneků a uhladí vibrační lištou. Vibrační válce zhutní vrstvu na požadovanou míru zhutnění. [5]

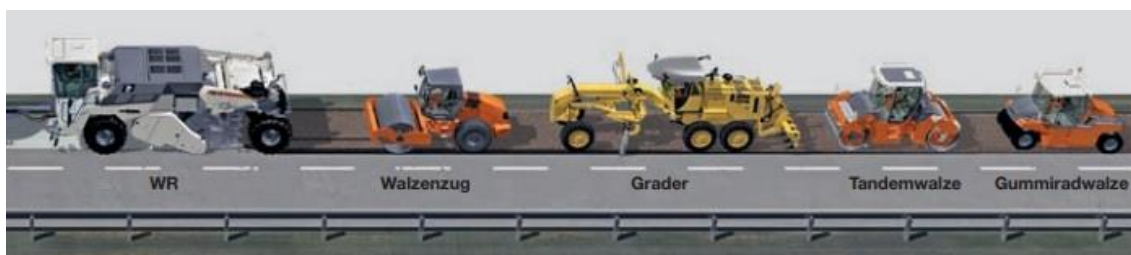


Obrázek 1 - Varianta dávkování cementu před strojem [5]



Obrázek 2 - Sestava recykléru s hladicí lištou a cisternou [6]

Další variantou je použití zemní frézy (Obrázek 3) bez vibrační hladicí lišty, kde se homogenizovaná směs rozprostře grejdrem do požadovaných podélných a příčných sklonů a ztuhne vibračním válcem. Výhodou této frézy (Obrázek 4) je její pracovní hloubka a to až 500 mm.



Obrázek 3 - Sestava zemního recykléru, grejdrů a válců [7]



Obrázek 4 - Pracovní sestava cisterny, recykléru a vibračního válce [7]

Výhody studené recyklace na místě jsou:

- rychlost opravy
- oproti opravě provedené pouze oživením vrstvy z asfaltových směsí dochází studenou recyklací ke zpevnění podloží, kde se vyskytují poruchy nejčastěji
- využívání druhotných surovin v silničním stavitelství, což představuje ekonomický a ekologický přínos
- nižší finanční náklady na jednotku prováděného díla oproti nové komunikaci konvenčnímu způsobu oprav
- úprava nivelety stávající komunikace
- omezení (až eliminaci) nároků na zbytečné energetické potřeby těžby a úpravy nových materiálů, jakož i nákladů na likvidaci materiálů odvezených [8]

3.1.2 Recyklace v míchacím centru za studena

Tato technologie zpracovává R-materiál v míchacím zařízení, které se nachází na obalovně. Existují také mobilní míchací zařízení (Obrázek 5), které se umísťují poblíž stavby z důvodů minimalizace přepravních vzdáleností a tím šetření finančních

prostředků. Postup provádění spočívá v odfrézování konstrukčních vrstev a odvozu materiálu do míchací jednotky. V té se materiál homogenizuje společně s přísadami pojiva, vody, zlepšujících přísad a případně dalším doplňujícím kamenivem. Takto upravená směs se odveze zpět na stavbu, kde se pomocí finišeru položí nová vrstva a zhutní na požadovanou míru zhutnění. Během dopravy nesmí docházet k segregaci, znečištění a k významné změně vlhkosti. [9]



Obrázek 5 - Mobilní recyklační míchací zařízení [9]

3.1.3 Recyklace za horka na místě

Tuto metodu podrobně popisují technické podmínky TP 209 - RECYKLACE ASFALTOVÝCH VRSTEV NETUHÝCH VOZOVEK NA MÍSTĚ ZA HORKA. Je to technologický proces, při kterém dochází k ohřátí, rozpojení a úpravě recyklované vrstvy recyklačním zařízením přímo na místě. Tato metoda rozlišuje 5 způsobů provádění: Regrip, Reshape, Repave, Remix a Remix Plus. Podobně jako u recyklace za studena na místě je i zde velice důležitý předběžný diagnostický průzkum původních asfaltových vrstev vozovky. [10]

Regrip

Tato metoda spočívá v nahřátí stávajícího povrchu vozovky pomocí infrazářičů a následně v podrcení kamenivem úzké frakce a zaválcování kameniva. Je vhodné ji použít zejména pro zlepšení protismykových vlastností obrusné vrstvy vozovky. [3]

Reshape

Touto technologií se upravuje příčný profil stávající vozovky. Metoda se skládá z následujících kroků: nahřátí stávajícího povrchu vozovky pomocí infrazářičů, rozpojení a nakypření směsi vrstvy, urovnání rozpojené a nakypřené asfaltové směsi v příčném a podélném směru a následném zhutnění. [10]

Repave

Technologie upravující příčný profil vozovky s položením nové asfaltové vrstvy. Postup této metody vychází z předešlé metody Reshape, kde v prvním kroku dojde nahřátí stávajícího povrchu vozovky pomocí infrazářičů, rozpojení a nakypření směsi vrstvy, urovnání rozpojené a nakypřené asfaltové směsi v příčném a podélném směru. Metoda se liší až v následujícím kroku, kde se na urovnanou vrstvu položí nová asfaltová vrstva a obě dvě vrstvy se následně zhutní válcem. [10]

Remix

Technologie recyklace asfaltové vrstvy za horka na místě, do které se přidává další materiál (kamenivo, asfalt nebo nová asfaltová směs a změkčující přísady). Postup recyklace se skládá z následujících kroků. Na povrch vozovky se rozprostře přidávané kamenivo (pouze v případě přidávání jen kameniva). Pojezdými infrazářiči se nahřeje asfaltová vrstva určená k recyklaci, která se následně rozpojí. Přidají se potřebné materiály (změkčující přísady, silniční asfalt, předobalená směs kameniva) a všechny složky se promíchají. Asfaltová směs se znovu položí a zhutní. Obrázek 6 znázorňuje technologický postup této metody po nahřátí recyklované vrstvy. [10]



Obrázek 6 - Metoda Remix [11]

Remix Plus

Remix Plus je kombinace recyklace a pokládky nové asfaltové vrstvy. První kroky jsou tedy stejné jako u metody Remix. Rozprostře se přidávané kamenivo na vozovku, nahřeje recyklovaná vrstva, rozpojí, přidají se změkčující přísady nebo asfalt, promísí se ohřátá asfaltová směs s přidávanými materiály a položí. V následujícím kroku se položí zcela nová asfaltová vrstva (obrusná) na ještě horkou recyklovanou vrstvu. Tento způsob se nazývá „horké na horké“, díky tomu se nepoužívá spojovací postřik mezi vrstvy. V posledním kroku se asfaltové souvrství (zpětně položená recyklovaná vrstvy + nová obrusná vrstva) zhutní. Obrázek 7 znázorňuje technologický postup této metody po nahřátí recyklované vrstvy. [10]



Obrázek 7 - Metoda Remix Plus [11]

Užití recyklovaných vrstev ve vozovce

Užití recyklovaných asfaltových vrstev v konstrukci vozovky je stejné jako u asfaltových vrstev podle ČSN 73 6121 a je uvedeno v Tabulka 3. Třídy dopravního zatížení jsou uvedeny v TP 209. [10]

Tabulka 3 – Užití recyklovaných asfaltových vrstev ve vozovce [10]

| Technologie recyklace | Doporučená třída dopravního zatížení | | |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------|------------------|
| | Obrusná vrstva | Ložní vrstva | Podkladní vrstva |
| Remix | IV – VI | I – VI | S – III |
| Remix Plus | - | I – VI | - |

3.1.4 Recyklace za horka na obalovně

Jde o metodu, kde se nejvíce zhodnotí R – materiál. Princip spočívá v tom, že se do výroby nových asfaltových směsí se přidává vyfrézovaný nebo vybouraný a následně předrcený R – materiál. Existují tři možnosti, jak lze tento materiál dávkovat:

- Studený R – materiál se přidává přímo do míchačky
- R – materiál se předeřívá a poté se přidává do míchačky
- Metoda Drum – mix u kontinuálních obaloven [3],[12]

Současná legislativa v České republice umožňuje přidávat jen malé množství R – materiálu do obrusných vrstev. Přidávání R – materiálu do konstrukčních vrstev krytu vozovek se řídí podle evropské normy ČSN EN 13108 - 1 a je uvedeno v Tabulka 4.

Tabulka 4 – Nejvyšší přípustný obsah R – materiálu v asfaltové směsi [13]

| Obrusné vrstvy | | Ložní vrstvy | | Podkladní vrstvy | |
|----------------|-----------------------|--------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| Druh směsi | Obsah R-materiálu [%] | Druh směsi | Obsah R-materiálu [%] | Druh směsi | Obsah R-materiálu [%] |
| ACO 8 | 25 | ACL 16 S | 30/15 | ACP 16 S | 50 |
| ACO 8 CH | 25 | ACL 16 + | 30 | ACP 16 + | 60 |
| ACO 11 S | - | ACL 16 | 40 | ACP 22 S | 50 |
| ACO 11 + | - | ACL 22 S | 30/15 | ACP 22 + | 60 |
| ACO 11 | 25 | ACL 22 + | 30 | | |
| ACO 16 S | - | ACL 22 | 40 | | |
| ACO 16 + | - | | | | |
| ACO | 25 | | | | |

Dávkování studeného R – materiálu přímo do míchačky

Jde u nás o nejčastější způsob dávkování R – materiálu na obalovnách za horka. Princip spočívá v tom, že se studený recyklát přidává přímo do míchačky šaržové obalovny (Obrázek 8). Jelikož je přidávaný materiál studený, je třeba předehřívát přidávané kamenivo na vyšší teploty, než je předepsaná teplota míchání. Problém bývá ve vysoké vlhkosti R – materiálu. Při smíchání s předehřátým kamenivem dochází k rychlému přechodu tepla a přítomná vlhkost způsobuje vznik velkého množství vodní páry. Tu je třeba odvádět odvětrávacím zařízením. Reálně se touto metodou zpracovává do 20% R – materiálu z celkové hmotnosti asfaltové směsi. [1]



Obrázek 8 - Šaržová obalovna [14]

Dávkování předehřátého R – materiálu

Tato metoda spočívá v tom, že se přidávaný R – materiál předehřívá v paralelním sušícím bubnu a poté se teprve dávkuje do míchačky. Tento způsob dávkování umožňuje přidávat daleko větší množství R – materiálu. Např. v Německu takto přidávají až 80% R – materiálu do asfaltových směsí. Bohužel v České republice není mnoho obaloven vybaveno touto technologií (do roku 2015 je to cca 5% obaloven). [1]

Drcení a třídění R – materiálu

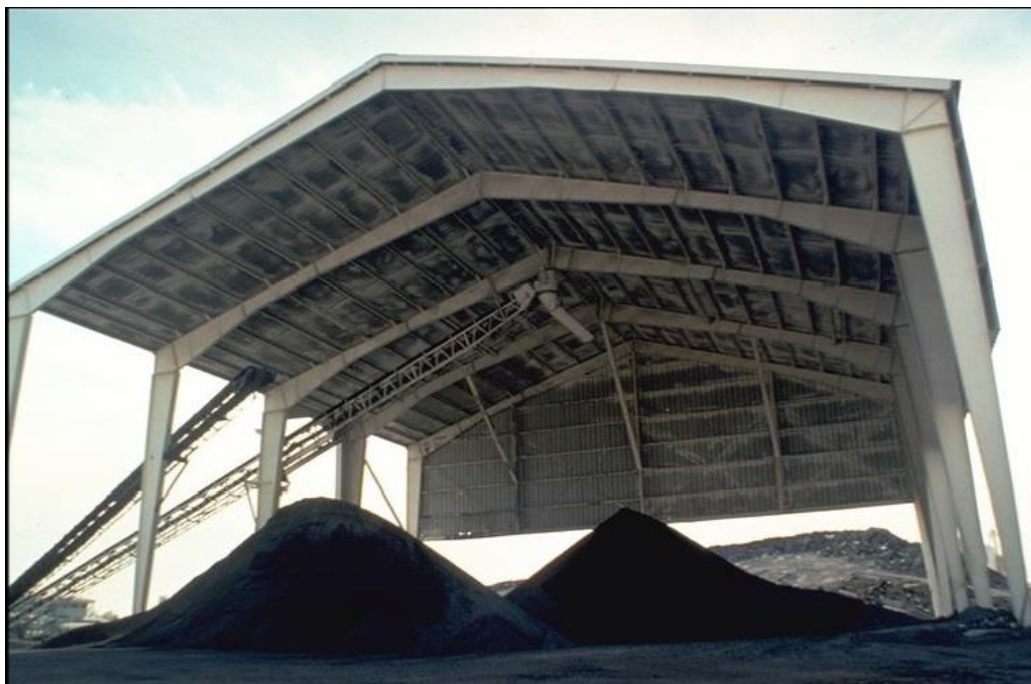
Materiál, který je přidáván do nových asfaltových směsí je buď vyfrézovaná nebo vybouraná asfaltová směs ve formě ker, které se následně předrtí a přetřídí v recyklačních linkách. Moderním zařízením pro úpravu zrnitosti je granulátor (Obrázek 9). Většinou se předrcený materiál třídí na dvě základní frakce 0/11 (0/8) a 0/22 (0/16). Ideální pro předrcení a přetřídění R-materiálu je podzimní nebo zimní období, kdy R-materiál již není tolik lepkavý a lépe se zpracovává.



Obrázek 9 - Granulátor R – materiálu [6]

Skladování

R – materiálu se nejčastěji skladuje na volně sypaných hromadách, nebo v zásobních boxech. Z důvodů snížení vlhkosti materiálu je trendem zastřešovat tyto skládky (Obrázek 10) a umožnit tak přidávání většího množství R – materiálu do nových asfaltových směsí.



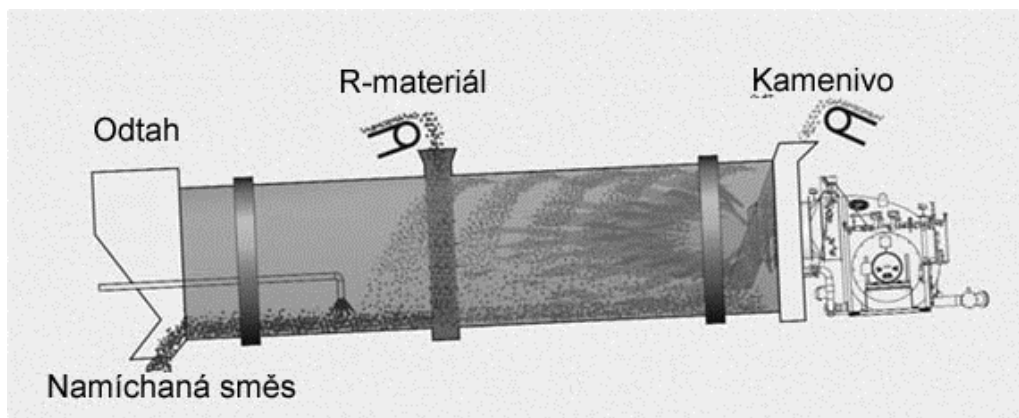
Obrázek 10 - Zastřešení R – materiálu [12]

Metoda Drum – mix u kontinuálních obaloven

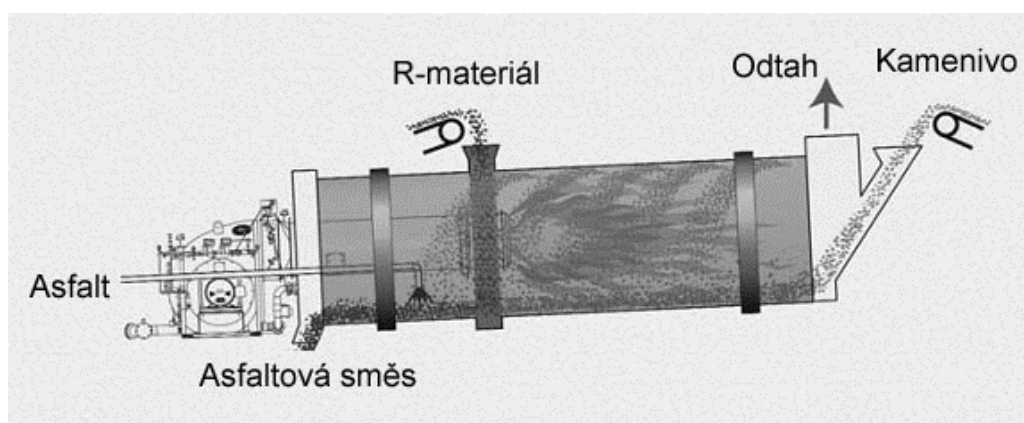
Metoda rozšířená zejména v USA, kde se takto zpracovává až 80% vyráběných asfaltových směsí. Na území ČR je pouze jedna kontinuální obalovna, a proto není tato metoda u nás příliš využívána. [15]

V kontinuální obalovně může být asfaltová směs s R-materiálem připravována několika způsoby. Buď se R – materiál průběžně dávkuje přímo do sušícího a ohřívacího bubnu, kde je následně míchán s kamenivem a asfaltovým pojivem. R-materiál lze u této metody výroby směsi přidávat buď souběžně s proudem horkého vzduchu (Obrázek 11), nebo proti proudu horkého vzduchu (Obrázek 12).

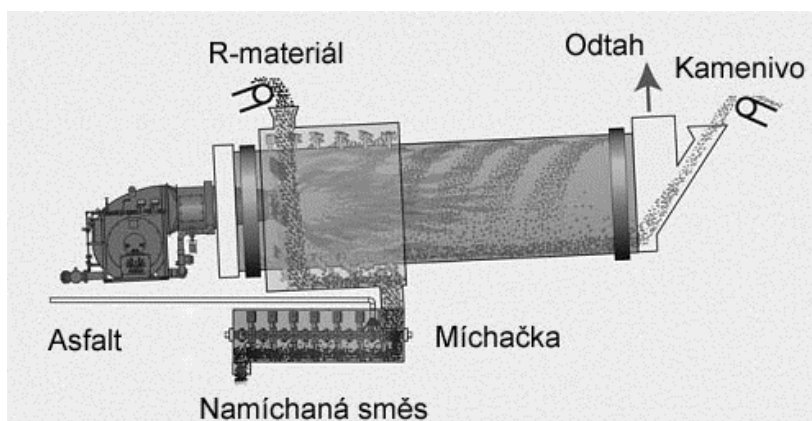
Další možností je separátní vysoušení R-materiálu ve vnějším bubnu a kameniva ve vnitřním sušícím bubnu, a následné míchání asfaltové směsi v samostatné míchací jednotce (Obrázek 13). [3]



Obrázek 11 - R-materiál se přidává souběžně s proudem horkého [3]



Obrázek 12 – Dávkování R – materiálu proti proudu horkého vzduchu [3]



Obrázek 13 - Separátní vysoušení R-materiálu, míchání v míchačce [3]

3.2 Recyklace s vyšším obsahem R-materiálu

Vzhledem k tomu, že se reálně v ČR přidává pouze do 20% R – materiálu do obrusných vrstev vozovky, je snaha toho množství zvětšit. Obavy z nepříznivého ovlivnění kvality jsou postupně vyvraceny různými výzkumnými studiemi především ze zahraničí (Německo, USA). Z těchto studií vyplývá, že přidání R – materiálu do nových asfaltových směsí má pozitivní vliv na chování za nízkých teplot a únavové charakteristiky. V praxi byly frakce R – materiálu úspěšně přidávány až do výše 50% hmotnosti nové asfaltové směsi jak pro vrstvy obrusné, tak pro vrstvy ložní. Pro podkladní asfaltové vrstvy se toto číslo pohybuje dokonce kolem 80% hmotnosti. Aby bylo možné dosáhnout takových výsledků, je třeba dodržovat „management R- materiálu“. [1], [2]

Předpoklady vyššího přidávání R- materiálu do nových směsí:

- pečlivé zajišťování zdrojů R – materiálu (frézování po jednotlivých konstrukčních vrstvách)
- oddělené skladování frézovaného materiálu podle jednotlivých konstrukčních vrstev (obrusná, ložní, podkladní)
- zastřešení skládek R – materiálu → snížení vlhkosti
- homogenizace R – materiálu, zejména při skladování materiálu různého původu
- účinné přijetí kontrolních mechanismů
- podrobné počáteční zkoušky
- strojní a specifické požadavky pro daný proces, které musí být splněny obalovnou (např. paralelní sušící buben) [1]

3.3 Homogenita

Homogenita je jedním z faktorů, na kterém záleží stanovení maximálního možného přidávání množství R – materiálu. Určujícími charakteristikami jestli se R- materiál chová, jako homogenní směs, - jsou: bod měknutí, obsah pojiva a odpovídající podíl zrn 0 až 0,063 mm; 0,063 až 2 mm a zrna větší než 2 mm.

Na základě těchto charakteristik se stanoví rozsah hodnot z jednotlivých odebraných dílčích vzorků. Maximální přidané množství vyplývající z homogenity R – materiálu je poté nejmenší z hodnot zjištěných charakteristik. Maximální možné přidané množství se stanoví počtetně a také se může stanovit graficky jako funkce rozsahu charakteristik pomocí nomogramu. [1]

3.4 Stanovení maximálního množství R – materiálu

V České republice není tato metoda zatím aplikovaná. Proto vycházíme z německých předpisů, kde jsou tyto postupy zpracované. Abychom mohli určit maximální možné množství přidávaného R – materiálu, musíme stanovit přípustnou toleranci (T_{perm}) v závislosti na typu asfaltové směsi a rozsahu dílčích charakteristik R - materiálu. Tabulka 5 udává tyto přípustné (smluvní) tolerance pro jednotlivé typy asfaltových vrstev. [1]

3.4.1 Numerické řešení

Tabulka 5 - Celkové tolerance T_{perm} příslušných charakteristik v závislosti na typu asf. směsi [2]

| Charakteristika | T_{perm} | |
|------------------------------------|---|---|
| | Asfaltová směs pro asfaltové obrusné a ložní vrstvy a asfaltové jednovrstvé kryty | Asfaltová směs pro asfaltové podkladní vrstvy |
| Bod měknutí kroužek a kulička [°C] | 8 | 8 |
| Obsah pojiva [% hm.] | 1,0 | 1,2 |
| Podíl zrn <0,063 mm [% hm.] | 6,0 | 10,0 |
| Podíl zrn 0,063 až 2 mm [% hm.] | 16,0 | 16,0 |
| Podíl zrn >2 mm [% hm.] | 16,0 | 18,0 |

Při recyklaci R-materiálu pro výrobu asfaltových směsí pro asfaltové **podkladní** vrstvy, **jednovrstvé** asfaltové **kryty** a asfaltové **spodní podkladní** vrstvy je maximální přípustný rozsah jednotlivé charakteristiky **polovina** přípustné (smluvní) celkové tolerance této charakteristiky dělena přidávaným množstvím. [2]

$$Z_{poss} = \frac{0,5 \cdot T_{perm}}{a_{max}} \cdot 100$$

- kde Z_{poss} maximálně možné přidané množství R-materiálu v % hmotnosti
- a_{max} maximální rozsah konkrétní charakteristiky
- T_{perm} přípustná (smluvní) celková tolerance charakteristiky

Při recyklaci R-materiálu pro výrobu asfaltových směsí pro asfaltové **obrusné** vrstvy a asfaltové **ložní** vrstvy je maximální přípustný rozsah jednotlivé charakteristiky **třetina** přípustné (smluvní) celkové tolerance této charakteristiky dělena přidávaným množstvím. (Výjimku tvoří v tomto případě charakteristická hodnota **bodů měknutí** kroužek a kulička. Ta připouští **polovinu** přípustné celkové tolerance). [2]

$$Z_{poss} = \frac{0,33 \cdot T_{perm}}{a_{max}} \cdot 100$$

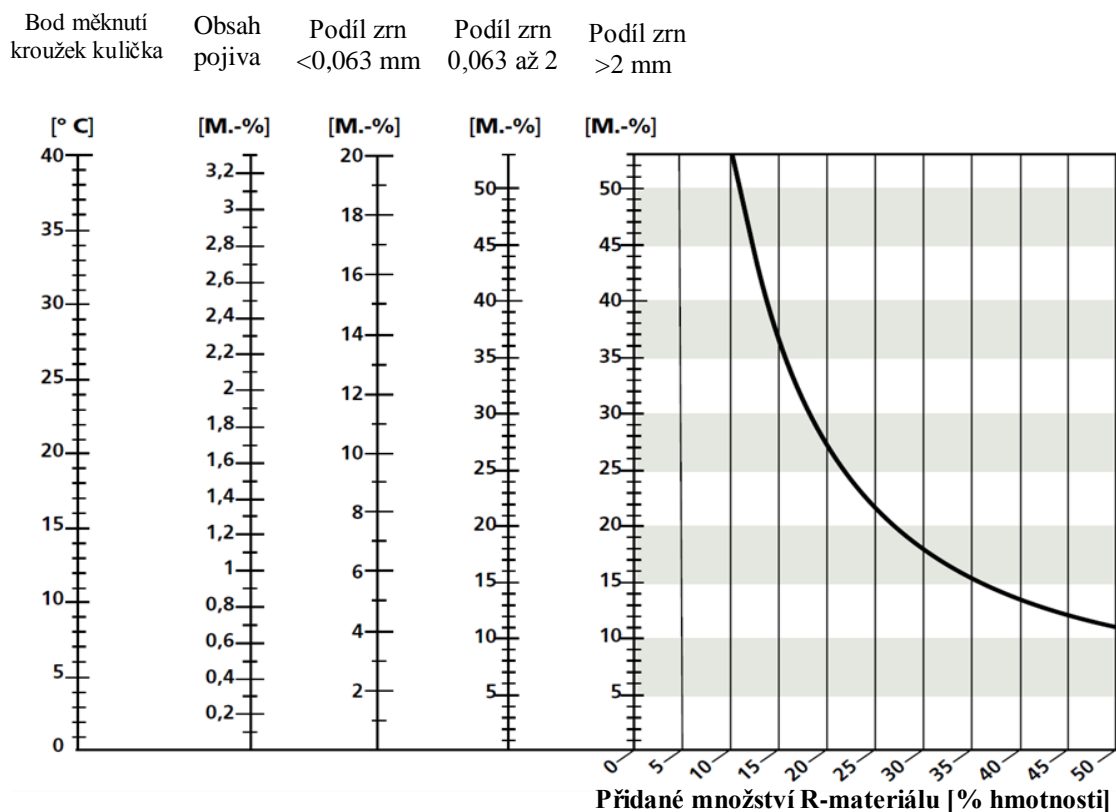
- kde Z_{poss} maximálně možné přidané množství R-materiálu v % hmotnosti
- a_{max} maximální rozsah konkrétní charakteristiky
- T_{perm} přípustná (smluvní) celková tolerance charakteristiky podle Doplňujících technických smluvních podmínek a směrnic pro stavbu konstrukcí dopravních ploch z asfaltových směsí

3.4.2 Grafické řešení

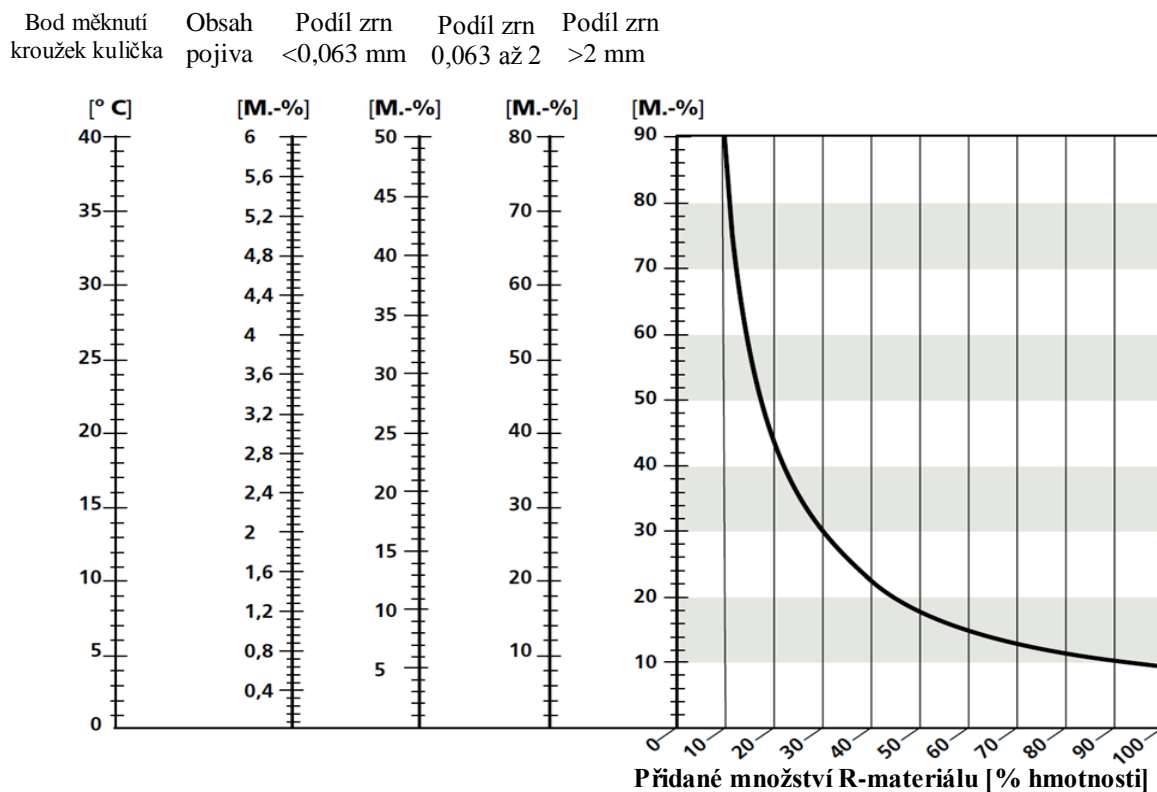
Pro stanovení maximálního možného množství přidávaného R – materiálu lze také využít grafickou metodu pomocí nomogramu. Na svislou osu se vynáší rozpětí intervalu příslušné charakteristiky zjištěné z dílčích stanovení. Dílčí stanovení mohou představovat např. stanovení na vyfrézovaném materiálu stejného druhu směsi z různých lokalit, který je skladován společně. V diagramu je rozhodující pro stanovení maximálního množství R-materiálu nejvyšší rozpětí ze sledovaných parametrů. V závislosti na typu asfaltové směsi rozlišujeme nomogramy pro: - asfaltové obrusné a ložní vrstvy (Obrázek 14)

- asfaltové podkladní vrstvy (Obrázek 15)

[1]



Obrázek 14 - Nomogram pro asfaltové obrusné a ložní vrstvy [1]



Obrázek 15 - Nomogram pro asfaltové podkladní vrstvy [1]

3.4.3 Příklad stanovení max. možného přidání R - materiálu

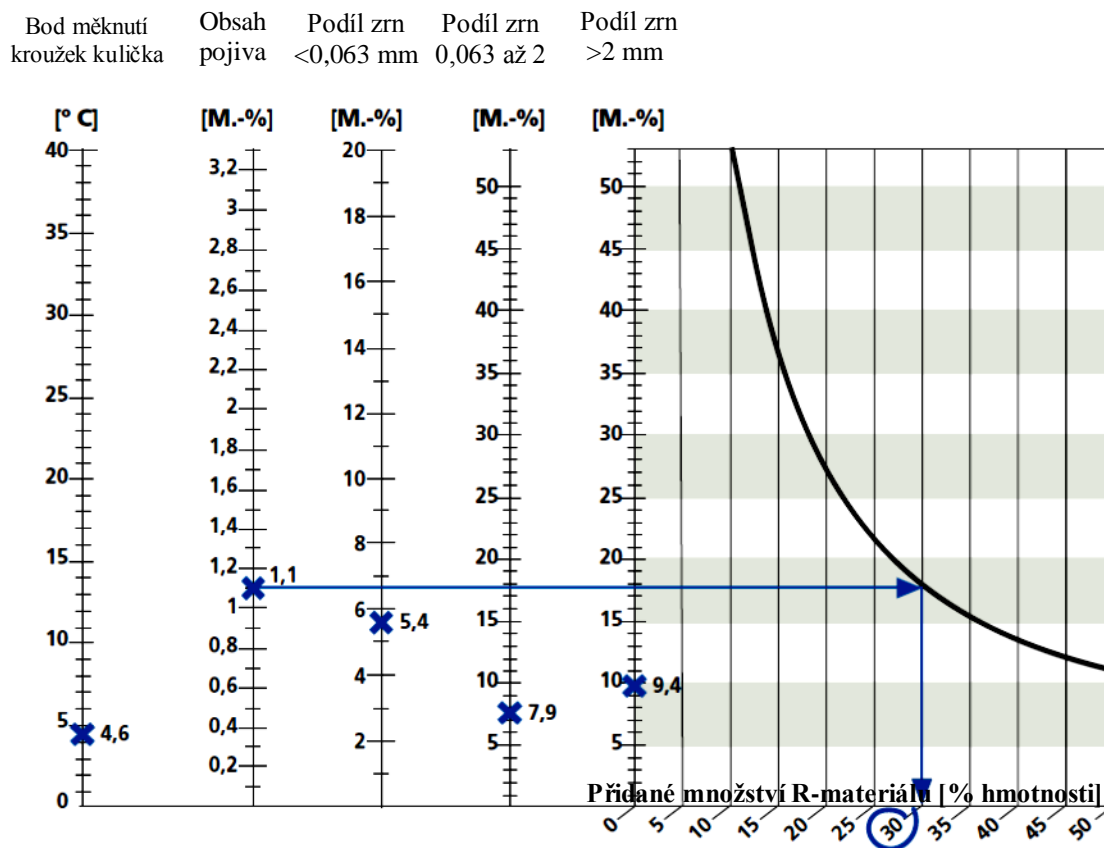
Příklad pro výpočet maximálně možného přidaného množství R-materiálu ve vztahu k homogenitě R-materiálu.

V tomto příkladu je R-materiál používán k výrobě asfaltové směsi pro asfaltové ložní vrstvy. Jeho charakteristiky jsou uvedeny dále v Tabulka 6. Rozsahy jednotlivých hodnot charakteristik jsou zaneseny v nomogramu na ose y (Obrázek 16). [1]

Tabulka 6 - Příklad pro charakteristiky R-materiálu [1]

| Charakteristika | Bod měknutí ($T_{K&K}$) [°C] | Obsah pojiva [% hm.] | Podíl zrn <0,063 mm [% hm.] | Podíl zrn 0,063 až 2 mm [% hm.] | Podíl zrn >2 mm [% hm.] |
|-----------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------|
| Vzorek č. 1 | 68,6 | 5,8 | 9,8 | 27,7 | 62,4 |
| Vzorek č. 2 | 64,0 | 5,8 | 11,3 | 25,2 | 63,5 |
| Vzorek č. 3 | 64,8 | 5,2 | 9,2 | 19,8 | 70,9 |
| Vzorek č. 4 | 68,0 | 4,7 | 6,7 | 21,5 | 71,8 |
| Vzorek č. 5 | 66,4 | 5,1 | 12,1 | 23,8 | 64,1 |
| Sřední hodnota | 66,4 | 5,3 | 9,8 | 23,6 | 66,5 |
| Rozsah | 4,6 | 1,1 | 5,4 | 7,9 | 9,4 |

Pro zjištění maximálně možného přidaného množství R-materiálu ve vztahu k homogenitě je rozhodující nejvyšší rozpětí jedné z charakteristik ležící na osách y, z které se potom odečte nejnižší přípustné přidávané množství R-materiálu. [1]



Obrázek 16 - Příklad stanovení maximálního množství přidávaného R-materiálu [1]

4 PRAKTICKÁ ČÁST

4.1 Použité zkušební metody

V této kapitole jsou popsány všechny laboratorní zkoušky a zkušební postupy, které byly použity při zpracovávání vzorků R – materiálu.

- Odběr vzorků R – materiálu
- Homogenizace, kvartace
- Znovuzískání extrahovaného pojiva
- Stanovení bodu měknutí metodou kroužek a kulička
- Stanovení penetrace jehlou
- Sítový rozbor

4.1.1 Odběr vzorků

Tato metoda je popsána evropskou normou ČSN EN 932 – 1 Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 1: Metody odběru vzorků.

Počet vzorků n , na kterém se stanovení provádí, vychází z množství zásoby upraveného R-materiálu v tunách podělené 500 t a zaokrouhlené nahoru, s minimálním počtem 5 vzorků. V našem případě bylo odebráno právě 5 dílčích vzorků z každé zásoby R – materiálu. [16], [1]

Pomůcky

Vzorkovací lopata

Postup odběru

Z hromady předrceného R – materiálu bylo vzorkovací lopatou odebráno potřebné množství tohoto kameniva z hloubky minimálně 100 mm pod povrchem. Dílčí vzorky se odebírají z různých míst při různých výškách nebo hloubkách. Vzorky byly vloženy do pytlů a očíslovány.

4.1.2 Homogenizace a dělení vzorků

Tato metoda je popsána evropskou normou EN 12697 – 28 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 28: Příprava vzorků pro stanovení obsahu pojiva, obsahu vody a zrnitosti.

Postup Homogenizace

Celý laboratorní vzorek se vysype na čistý tvrdý povrch do tvaru kužele. Tento kužel se přeloží a tím se získá kužel nový. Tento postup se opakuje třikrát. Při tvorbě kuželovité hromady se sype materiál vždy na vrchol kužele a rozmisťuje co nejrovnoměrěji. Třetí kužel se zploští pomocí lopaty. Metodou kvartace se laboratorní vzorek zmenší na vzorek zkušební. [17]

Postup kvartace

Komolý kužel vzniklý při homogenizaci vzorku se rozčtvrtí podél dvou průmětů, které se protínají v pravém úhlu (Obrázek 17). Dvě diagonálně protilehlé čtvrtiny se smísí a zbytek vyřadí. Postup se opakuje, dokud se nedosáhne požadované hmotnosti zkušební vzorku (cca 2000 g). [17]



Obrázek 17 - Kvartace laboratorního vzorku [6]

4.1.3 Znovuzískání extrahovaného pojiva

Tato metoda je popsána evropskou normou EN 12697 – 1 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 1: Obsah rozpustného pojiva a normou ČSN EN 12697 - 3 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva - Rotační vakuové destilační zařízení. Podstata metody spočívá v oddělení asfaltu ze vzorku pomocí rozpouštědla (v našem případě trichloretylenu). Poté se v odstředivce odstraní pevné částice z asfaltového roztoku a následně se destilací pomocí rotačního destilačního zařízení znovuzíská pojivo. (Pozn. Asfalt nesmí být v rozpouštědle déle než 24 hodin). [18]

Používané přístroje a pomůcky

K této zkoušce jsou potřeba tyto pomůcky: nádoba s uzávěrem (plechovka) na rozpuštění R- materiálu v rozpouštědle. Rozpouštědlo (trichloretylen), vysokorychlostní odstředivku (Obrázek 18) na přečištění asfaltového roztoku a destilační přístroj. [18]

Postup extrakce

Dle evropské normy EN 12697 – 1 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 1: Obsah rozpustného pojiva. V prvním kroku se extrahuje asfalt od kameniva a odstraní nerozpustný materiál. Zvážený vzorek vysušeného R – materiálu (m_1) se umístí do vhodné nádoby (nejlépe plechovky) a zcela se zalije rozpouštědlem (trichloretylen). Poté se vzorek míchá do té doby, než se oddělí asfalt od kameniva. Když je pojivo rozpuštěno necháme ještě vzorek 10 minut odstát. V této proluce si připravíme nádobu s filtračním papírem, kterou zvážíme (hmotnost m_2) a umístíme do odstředivky. Na místo, kam bude vytékat přefiltrovaný roztok, umístíme prázdnou nádobu. [18]

Separace minerálního materiálu

Následuje samotné odstředování jemných částic z roztoku. Po zapnutí vysokorychlostní průtokové odstředivky se nalije opatrně roztok s kamenivem na síta umístěná v horní části přístroje. Nádoba se důkladně propláchne trichloretylenem. Kamenivo se během

odstředování ještě několikrát proplachuje rozpouštědlem do té doby, než se z kameniva rozpustí ulpělý asfalt.

Po dokončení odstředování, se síta s kamenivem a nádoba se separačním papírem vysuší v laboratorní sušárně při teplotě $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Poté se zváží suché extrahované kamenivo (m_4) a nádoba s vysušeným separačním papírem (m_3). [18]



Obrázek 18 - Odstředivka na extrahování asfaltového pojiva [6]

Obsah pojiva, které je obsaženo ve směsi se spočítá dle vztahu:

$$S = 1 - \frac{m_4 + (m_3 - m_2)}{m_1} \times 100$$

- kde: S obsah rozpuštěného pojiva, které bylo obsaženo v R- materiálu, v [%]
 m_1 hmotnost vysušené zkušební navážky R – materiálu, v [g]
 m_2 hmotnost nádoby z odstředivky, vč. separačního papíru, v [g]
 m_3 hmotnost nádoby z odstředivky, vč. separačního papíru a fileru, v [g]
 m_4 hmotnost vysušeného kameniva získaného extrakcí pojiva, v [g]

Postup destilace v rotačním vakuovém zařízení

Dle normy ČSN EN 12697 - 3 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva - Rotační vakuové destilační zařízení (Obrázek 19). Chladičem se nechá protékat studená voda. Na zařízení nastavíme rychlost otáčení (75 ± 15) otáček za minutu, při kterých necháme rotovat destilační baňku. Poté ponoříme destilační baňku do olejové lázně. V první fázi se bude lázeň zahřívat na teplotu (90 ± 5) °C. Tlak v přístroji se postupně sníží na (40 ± 5) kPa. Nasávacím kohoutem se nasaje asfaltový roztok s trichlorethylenem do destilační baňky, přičemž objem roztoku v destilační baňce nesmí být větší než 400 ml. Jímací baňka se plní destilovaným trichlorethylenem a podle potřeby se musí vyprazdňovat. Po nasátí veškerého asfaltového roztoku do destilační baňky nastává druhá fáze destilace. Teplota olejové lázně se zvýší na (160 ± 5) °C a tlak se postupně sníží na hodnotu 2 kPa. V destilaci se pokračuje, dokud neskončí odpařování rozpouštědla. To se pozná tak, že se na asfaltu v destilační baňce přestanou tvořit bublinky. Tato druhá fáze trvá nejdéle 10 minut. Pokud se v pojivu i po této době tvoří bublinky, zvýší se teplota na (185 ± 5) °C. Když se přestanou tvořit bublinky, lze ukončit destilaci. Tlak se pomalu vyrovná s tlakem atmosférickým, zastaví se rotace baňky. Dále se destilační baňka vyjme z olejové lázně, otře se z vnější strany od zbytku oleje a odpojí od přístroje. Obsažené pojivo se vylíje do připravené nádoby a lze jej využít na další zkoušky. [19]



Obrázek 19 - Rotační vakuové destilační zařízení [6]

4.1.4 Stanovení bodu měknutí metodou kroužek a kulička

Tato zkouška je popsána evropskou normou ČSN EN 1427 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek kulička. Podstata metody spočívá v zahřívání dvou kotoučků z asfaltového pojiva odlitých v mosazných kroužcích s osazením ve vodní lázni řízenou rychlostí, přičemž na každém z nich je umístěna ocelová kulička. Zahřívání probíhá, dokud tyto dva kotoučky změknou natolik, aby každá z kuliček, obalená v asfaltovém pojivu, propadla o vzdálenost $25,0 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$. [20]

Používané přístroje a pomůcky

K této zkoušce jsou potřeba tyto pomůcky: zkušební zařízení pro kroužek a kuličku, dva mosazné kroužky s osazením vyhovující rozměrům, odlévací destičku (rovný hladký plech o rozměrech $50 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$ s dolů zahnutými hranami), dvě kuličky z korozivzdorné oceli o průměru $9,50 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ a hmotnosti každé kuličky $3,50 \text{ g} \pm 0,05 \text{ g}$, dva středící mosazné prstence (pro každý kroužek jeden), držák z korozivzdorné oceli sloužící k přesnému upevnění kroužků ve vodorovné poloze, skleněnou kádinku na vodní lázeň, teploměr, míchadlo (v našem případě magnetické) a separační prostředek. [20]

Postup zkoušky

Mosazné kroužky se zahřejí na teplotu asi o $90 \text{ }^\circ\text{C}$ vyšší, než je předpokládaný bod měknutí. Stejně tak se nahřeje asfaltové pojivo, aby se dalo rozlévat. Odlévací destička se pokryje nepatrným množstvím separačního prostředku a umístí se na ní nahřáté kroužky. Poté se nalije do každého kroužku mírný přebytek zahřátého asfaltu a vzorky se nechají při laboratorní teplotě nejméně 30 minut chladnout. Po zchladnutí se odřízne nadbytečné asfaltové pojivo nahřátou špachtlí tak, aby povrch vzorku byl zarovnan s okrajem kroužku. Kroužky se umístí do stojanu na kroužky, na ně se nasadí středící prstence a stojan se umístí do kádinky naplněné odvzdušněnou destilovanou vodou. Na dno se vloží magnetické míchadlo. Lázeň se naplní tak, aby povrch hladiny vody byl $50 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ nad horním okrajem kroužků. Celá sestava se následně zchladí na teplotu $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Ocelové kuličky se zchladí v samostatné nádobce. Zajistí se stejná počáteční teplota

pro kuličky i zbývající sestavu. Po ochlazení se ocelové kuličky vloží do středících prstenců, celá sestava se umístí do měřicího zkušebního zařízení, vloží se teploměr a začne samotná zkouška.

Po spuštění zařízení se začne lázeň odspodu míchat a zároveň rovnoměrně zahřívá rychlostí 5 °C/min. Obrázek 20 ukazuje postupné propadání kuličky skrz asfalt. Když kulička obklopená asfaltem protne světelný paprsek zkušebního přístroje, teplota se zaznamená zvlášť pro každý vzorek. [20]



Obrázek 20 - Protážení pojiva během zkoušky [6]

Vyhodnocení

Bod měknutí zkoumaného vzorku pojiva se získá jako aritmetický průměr teplot zaznamenaných u každého kroužku a kuličky. Pro bod měknutí nižší nebo rovný 80 °C se hodnota zaokrouhlí na nejbližší 0,2 °C. Rozdíl teplot mezi jednotlivými výsledky pro bod měknutí menší než 80 °C nesmí přesáhnout 1 °C, jinak by bylo nutné provádět zkoušku znovu. [20]

4.1.5 Stanovení penetrace jehlou

Tato zkouška je popsána evropskou normou ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou. Podstata metody spočívá v měření hloubky průniku penetrační jehly do vytemperovaného vzorku asfaltového pojiva za podmínek aplikovaného zatížení 100 g po dobu 5 s. [21]

Používané přístroje a pomůcky

K této zkoušce jsou potřeba tyto pomůcky: penetrometr, penetrační jehla předepsaných parametrů, kovová nádoba s plochým dnem na zkušební vzorek, vodní lázeň na temperování vzorku, přenášecí miska o minimálním objemu 350 ml a teploměr. [21]

Postup zkoušky

Asfaltové pojivo se zahřeje na teplotu asi o 90 °C vyšší než je předpokládaný bod měknutí, aby se dalo nalít do čisté nádoby na vzorky. Plní se do výšky nejméně o 10 mm větší, než je předpokládaný průnik penetrační jehly. Po naplnění se nádoba zakryje z důvodu eliminace vzduchových bublinek a zabránění znečištění povrchu prachem. Vzorky se nechají zchladnout na laboratorní teplotu a poté se umístí do vodní lázně s konstantní teplotou 25 °C na dobu 90 minut společně s přenášecí miskou.

Před samotným provedením zkoušky je třeba zkontrolovat, zda se držák jehly pohybuje volně a jestli neobsahuje cizorodé látky. Před vložením penetrační jehly do držáku se jehla očistí vhodným rozpouštědlem a osuší čistým hadříkem. Temperovaný vzorek se vloží do přenášecí misky, zalije vodou z lázně a miska se vzorkem se umístí na podstavec penetrometru. Přiblíží se jehla do pozice, až se její hrot lehce dotkne povrchu vzorku (pro snadnější nastavení jehly je dobré zvolit vhodné osvětlení) Zaznamená se nulová pozice jehly, nastaví se na penetrometru doba zatěžování 5 s a provede první stanovení. Na stupnici se zaznamená hodnota penetrace. Poté se jehla vytáhne, očistí a provedou se další dvě stanovení. Je nutné zajistit konstantní teplotu po celou dobu zkoušky. Vzdálenost jednotlivých vpichů od sebe a od stran nádoby je min 10 mm. [21]

Vyhodnocení

Hodnota penetrace se uvádí v desetinách milimetru zaokrouhlena na nejbližší celé číslo. Vyjadřuje se jako aritmetický průměr platných stanovení. Norma uvádí maximální rozdíl platných stanovení. V našem případě je to rozdíl max. 2 penetračních jednotek pro asfalty do 49. [21]

4.1.6 Sítový rozbor

Tato zkouška je popsána evropskou normou ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor. Podstata metody v našem případě spočívá v prosévání materiálu přes sady sít různých velikostí. Částice, které zůstanou na jednotlivých sítích, se zváží a vyjádří v procentech. [22]

Používané přístroje a pomůcky

K této zkoušce jsou potřeba tyto pomůcky: zkušební síta s otvory různých velikostí, víko a dno, sušárnu na vysušení kameniva, váhy s přesností $\pm 0,1$ % hmotnosti zkušební navážky, misky, kartáče, štětce a prosévací přístroj (Obrázek 21). [22]

Postup zkoušky

Zvážená navážka vysušeného kameniva se nasype na sestavenou sadu sít, přičemž horní síto má největší otvory. Velikost sít se směrem dolů zmenšuje až ke dnu. Horní síto se zaklopí víkem a může se spustit prosévací přístroj. Po ukončení střásání se postupně síta odebírají a provádí se ruční prosévání, přičemž je třeba zabránit ztrátám materiálu. Propadlý materiál se přidává na další síto v pořadí před zahájením prosévání na tomto síti. Vzorec udává max. možné množství materiálu na každém síti (v gramech) z důvodu zabránění přetížení síta. [22]

$$\frac{A \times \sqrt{d}}{200}$$

kde A plocha síta ve čtverečních milimetrech
 d velikost otvoru síta v milimetrech

Po ukončení prosévání se všechny zůstatky na sítích zaznamenají jako hmotnosti $R_1, R_2, R_3 \dots R_i$. Propady na dně se zaznamenají jako hmotnost (P). [22]



Obrázek 21- Prosévací přístroj kameniva [6]

Vyhodnocení

Všechny hmotnosti se zaznamenají do protokolu. Vypočtou se hmotnosti zůstatků na každém síti jako procento hmotnosti původní vysušené navážky M_1 , dále se vypočtou součtová procenta hmotnosti původní navážky, které propadly každým sítem od shora dolů kromě síta 0,063 mm. Procento jemných částic (f), které propadly sítem 0,063 mm se spočte podle následujícího vztahu: [22]

$$f = \frac{(m_1 - m_2) + p}{m_1} \times 100$$

kde: m_1 hmotnost vysušené zkušební navážky, v kilogramech
 m_2 hmotnost vysušeného zůstatku na síti 63 μm , v kilogramech
 p hmotnost propadu jemných částic na dně, v kilogramech

Součet hmotností R_i a P se nesmí lišit o více než 1 % od hmotnosti M_2 . [22]

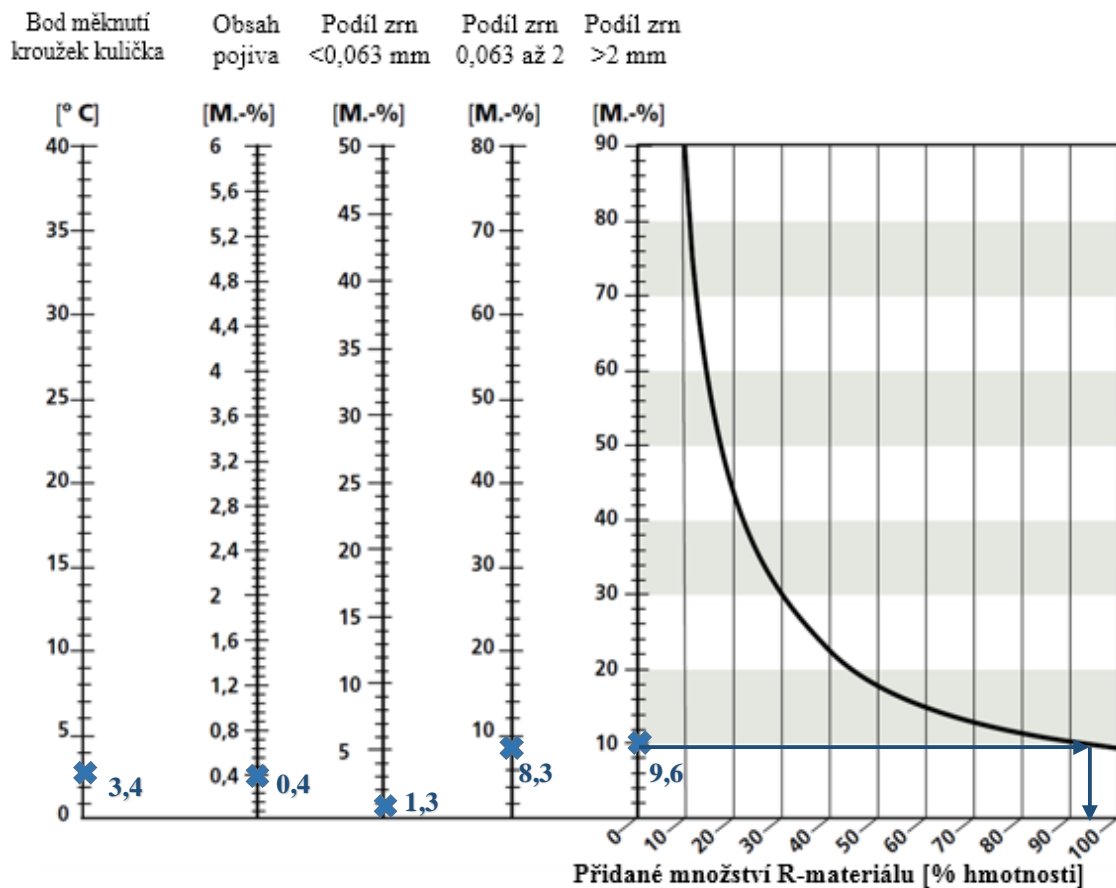
5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Následující Tabulka 7 obsahuje naměřené hodnoty příslušných charakteristik dílčích vzorků R – materiálu. Vzorky 1 až 5 byly odebrány na obalovně v Rajhradcích nedaleko od Brna. Jedná se o předrcené asfaltové kry různého původu a následně přetříděné na frakci 0/22 mm. Velikost frakce napovídá tomu, že materiál je určen do ložních nebo podkladních asfaltových směsí. V tabulce jsou také vypočítány rozsahy jednotlivých charakteristik. Dále je zde zapsána přípustná (smluvní) tolerance viz Tabulka 5 a spočítané maximální možné přidané množství R – materiálu do asfaltových podkladních směsí. (Více o postupu v kap. 3.4 Stanovení maximálního množství R – materiálu).

Tabulka 7 - Naměřené charakteristiky vzorků z frakce 0/22, Rajhradice

| Charakteristika | Bod měknutí [°C] | Obsah pojiva [% hm.] | Podíl zrn <0,063 mm [% hm.] | Podíl zrn 0,063 až 2mm [% hm.] | Podíl zrn >2 mm [% hm.] |
|----------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Vzorek č. 1 | 58,5 | 5,6 | 11,8 | 42,5 | 45,7 |
| Vzorek č. 2 | 58,7 | 5,5 | 10,7 | 38,3 | 51,0 |
| Vzorek č. 3 | 55,5 | 5,4 | 10,5 | 34,2 | 55,3 |
| Vzorek č. 4 | 58,5 | 5,8 | 11,7 | 36,1 | 52,2 |
| Vzorek č. 5 | 58,9 | 5,8 | 11,7 | 35,6 | 52,7 |
| Průměrná hodnota | 58,0 | 5,6 | 11,3 | 37,3 | 51,4 |
| Rozsah (a_{max}) | 3,4 | 0,4 | 1,3 | 8,3 | 9,6 |
| Tolerance (T_{perm}) | 8,0 | 1,2 | 10,0 | 16,0 | 18,0 |
| Max. R-mat. (Z_{poss}) | 100% | 100% | 100% | 96% | 94% |

Z výsledku vyplývá, že vzorky vykazují velmi vysokou homogenitu směsi R – materiálu. Na základě tohoto předpokladu lze přidávat až 94% recyklátu do asfaltových podkladních směsí. Na Obrázek 22 je tento výsledek znázorněn graficky pomocí nomogramu. Tento výsledek může odpovídat tomu, že materiál pochází z jednoho zdroje, nebo byl výsledek ovlivněn způsobem odebírání vzorků. Ty byly odebírány ze skládky kuželovitého tvaru po obvodě z přibližně stejné hloubky.



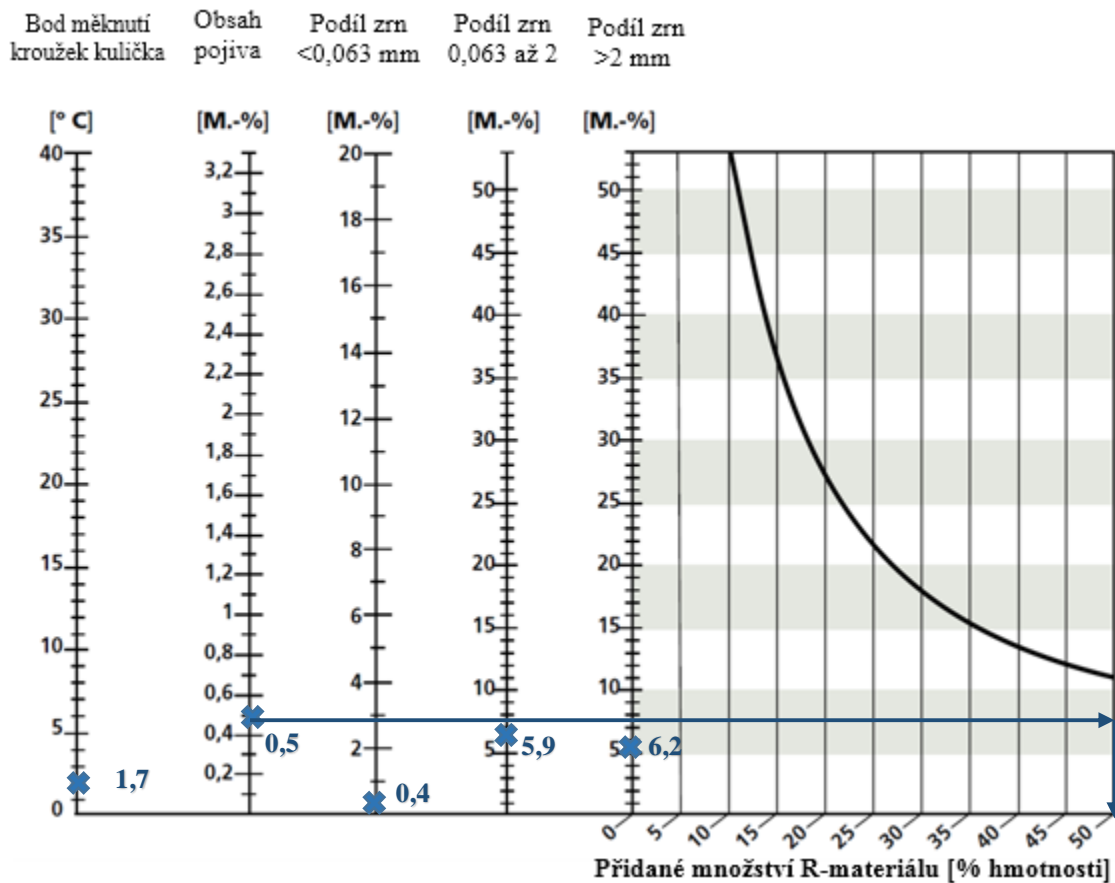
Obrázek 22- Nomogram (frakce 0/22, obalovna Rajhradice)

Tabulka 8 obsahuje naměřené hodnoty příslušných charakteristik dílčích vzorků R - materiálu. Vzorky 6 až 10 byly odebrány na obalovně v Rajhradcích nedaleko Brna. Jedná se o předrcený a přetříděný R- materiál, neznámého původu, frakce 0/11 m. Velikost frakce napovídá tomu, že materiál je přidáván do obrusných asfaltových směsí. V příslušné tabulce jsou vypočítány rozsahy maximální a minimální hodnoty jednotlivých charakteristik. Dále je zde zapsána přípustná (smluvní) tolerance viz Tabulka 5 a spočítané maximální možné přidané množství R – materiálu do asfaltových obrusných směsí. (Více o postupu v kap. 3.4 Stanovení maximálního množství R – materiálu).

Tabulka 8 - Naměřené charakteristiky vzorků z frakce 0/11, Rajhradice

| Charakteristika | Bod měknutí [°C] | Obsah pojiva [% hm.] | Podíl zrn <0,063 mm [% hm.] | Podíl zrn 0,063 až 2mm [% hm.] | Podíl zrn >2 mm [% hm.] |
|----------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Vzorek č. 6 | 59,1 | 6,2 | 12,8 | 47,6 | 39,5 |
| Vzorek č. 7 | 58,8 | 6,2 | 13,0 | 47,1 | 39,9 |
| Vzorek č. 8 | 58,9 | 6,1 | 13,0 | 47,9 | 39,1 |
| Vzorek č. 9 | 58,7 | 6,1 | 12,6 | 45,7 | 41,7 |
| Vzorek č. 10 | 60,4 | 6,6 | 12,7 | 42,0 | 45,3 |
| Průměrná hodnota | 59,2 | 6,2 | 12,8 | 46,1 | 41,1 |
| Rozsah (a_{max}) | 1,7 | 0,5 | 0,4 | 5,9 | 6,2 |
| Tolerance (T_{perm}) | 8,0 | 1,0 | 6,0 | 16,0 | 16,0 |
| Max. R-mat. (Z_{poss}) | 100% | 66% | 100% | 89% | 85% |

Z výsledku vyplývá, že tato sada vzorků vykazuje dobrou homogenitu směsi R – materiálu. Na základě tohoto předpokladu lze přidávat až 66% recyklátu do asfaltových směsí určené pro obrusné vrstvy. Na Obrázek 23 je tento výsledek znázorněn graficky pomocí nomogramu. Výsledek může odpovídat tomu, že zásoba R – materiálu byla kvalitně promísena. Pravděpodobněji však k takovému výsledku napomohl způsob odběru vzorků. Ty byly odebrány pouze z čelní stěny zásobního boxu R- materiálu, proto nelze přesně určit, zda celá zásoba R – materiálu frakce 0/11 vykazuje naměřené hodnoty.

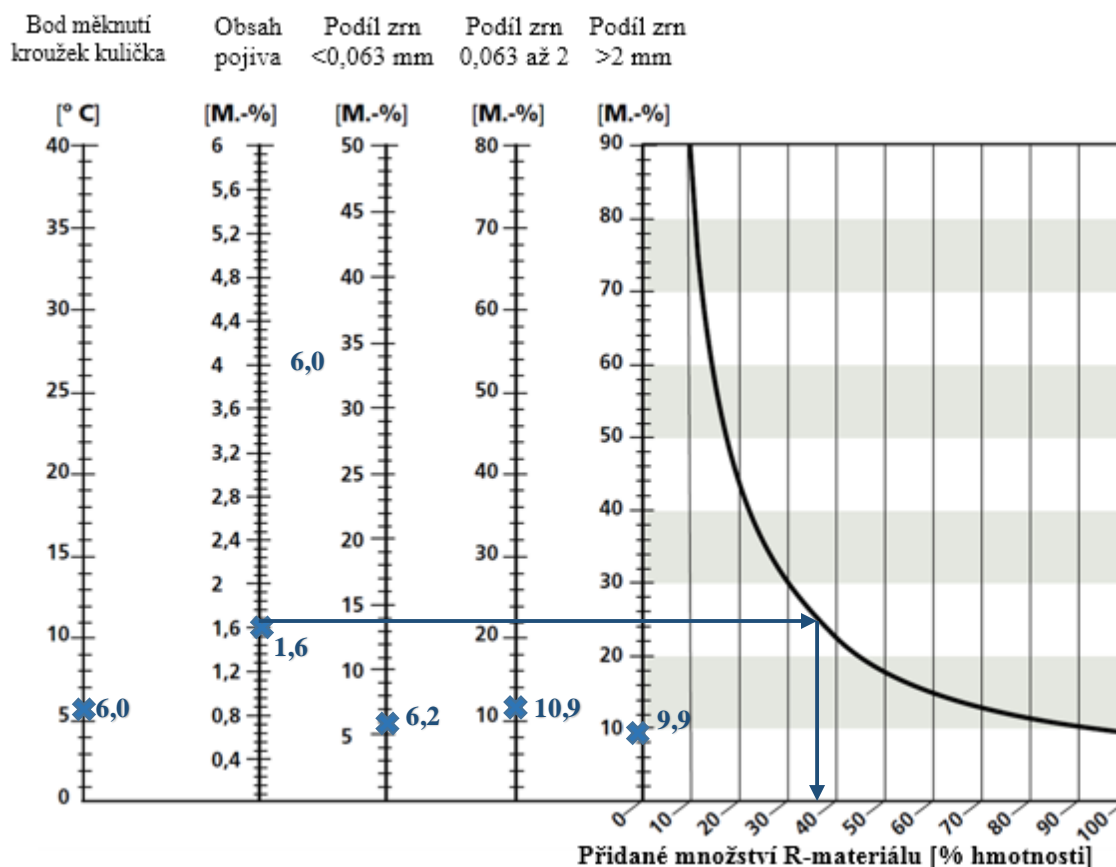


Obrázek 23 - Nomogram (frakce 0/11, obalovna Rajhradice)

Tabulka 9 obsahuje naměřené hodnoty příslušných charakteristik dílčích vzorků R - materiálu. Hodnoty vzorků 11 až 15 byly získány z celoročního sledování parametrů R- materiálu na obalovně Brant firmy Froněk s.r.o. nedaleko Rakovníka. Velikost frakce napovídá tomu, že materiál je přidáván do asfaltových směsí určené pro ložní a podkladní vrstvy vozovky. V příslušné tabulce jsou vypočítány rozsahy maximální a minimální hodnoty jednotlivých charakteristik, zapsány přípustné (smluvní) tolerance viz Tabulka 5 a spočítané maximální možné přidané množství R – materiálu do asfaltových směsí pro podkladní vrstvy. (Více o postupu v kap. 3.4 Stanovení maximálního množství R – materiálu).

Tabulka 9 - Naměřené charakteristiky vzorků z frakce 0/22, Froněk

| Charakteristika | Bod měknutí [°C] | Obsah pojiva [% hm.] | Podíl zrn <0,063 mm [% hm.] | Podíl zrn 0,063 až 2mm [% hm.] | Podíl zrn >2 mm [% hm.] |
|----------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Vzorek č. 11 | 63,5 | 5,4 | 12,1 | 31,6 | 56,3 |
| Vzorek č. 12 | 58,3 | 5,0 | 11,2 | 26,3 | 62,5 |
| Vzorek č. 13 | 60,8 | 5,2 | 5,9 | 30,8 | 63,3 |
| Vzorek č. 14 | 57,5 | 5,7 | 6,6 | 33,7 | 59,7 |
| Vzorek č. 15 | 63,5 | 4,1 | 11,0 | 22,8 | 66,2 |
| Průměrná hodnota | 60,7 | 5,1 | 9,4 | 29,0 | 61,6 |
| Rozsah (a_{max}) | 6,0 | 1,6 | 6,2 | 10,9 | 9,9 |
| Tolerance (T_{perm}) | 8,0 | 1,2 | 10,0 | 16,0 | 18,0 |
| Max. R-mat. (Z_{poss}) | 67% | 38% | 81% | 73% | 91% |



Obrázek 24 - Nomogram (frakce 0/22, obalovna Froněk)

Z výsledku vyplývá, že R- materiál používaný na frakci 0/22 je velmi různorodý. Rozsah dílčí charakteristiky obsahu pojiva je poměrně velký. Výsledkem je, že lze přidávat až 38% recyklátu frakce 0/22 do asfaltových směsí určené pro asfaltové podkladní vrstvy. Jelikož se jedná o dlouhodobé srovnání dílčích výsledků, není v tomto případě celkový výsledek ovlivněn odběrem vzorků. Na Obrázek 24Obrázek 25 je výsledek znázorněn graficky pomocí nomogramu.

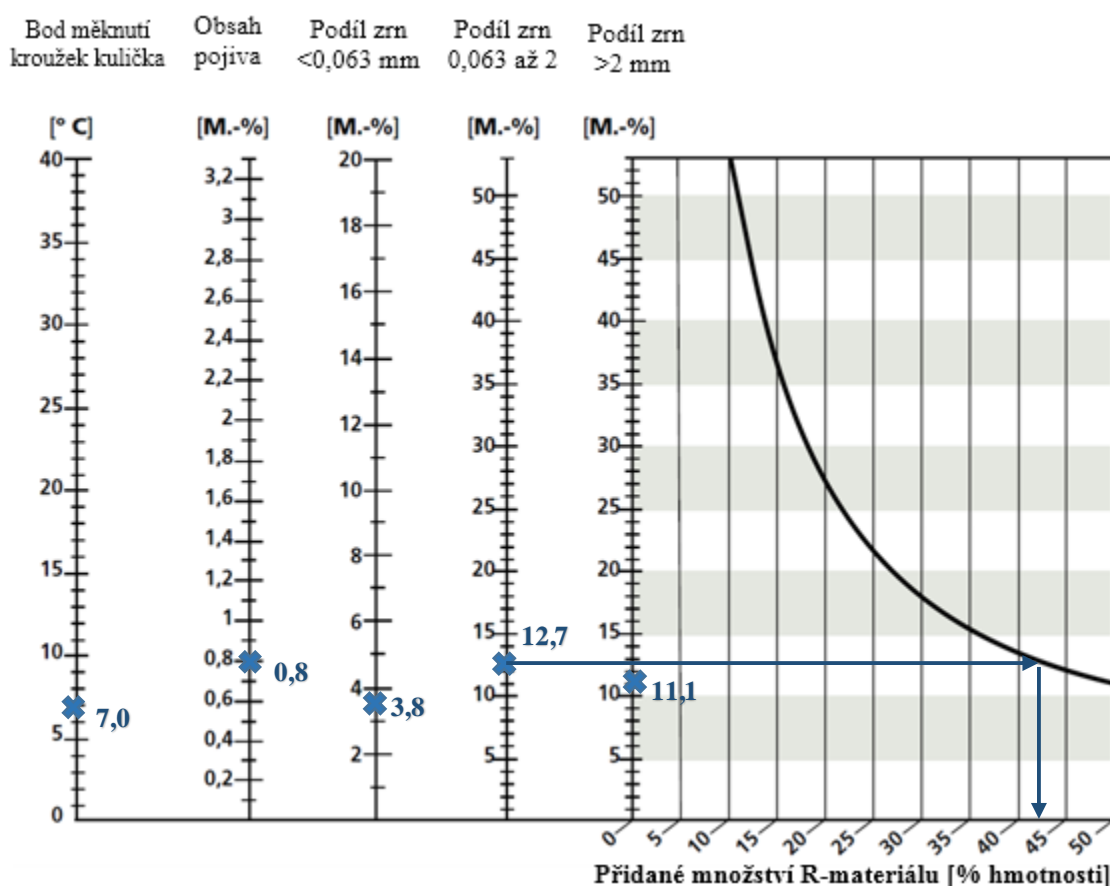
Tabulka 10 obsahuje naměřené hodnoty příslušných charakteristik dílčích vzorků R - materiálu. Hodnoty těchto vzorků poskytla silniční laboratoř firmy Froněk s.r.o. Data vystihují průběžné vyhodnocování R- materiálu na obalovně Brant firmy Froněk s.r.o.. Jedná se o předrcený a přetříděný R- materiál různého původu frakce 0/11 mm. R - materiál je přidáván do asfaltových směsí určené pro obrusné vrstvy vozovky. V příslušné tabulce jsou vypočítány rozsahy maximální a minimální hodnoty jednotlivých charakteristik, zapsané přípustné (smluvní) tolerance (viz Tabulka 5) a spočítané maximální možné přidávané množství R – materiálu do asfaltových směsí pro obrusné vrstvy. (Více o postupu v kap. 3.4 Stanovení maximálního množství R – materiálu).

Tabulka 10 - Naměřené charakteristiky vzorků z frakce 0/11, Froněk

| Charakteristika | Bod měknutí [°C] | Obsah pojiva [% hm.] | Podíl zrn <0,063 mm [% hm.] | Podíl zrn 0,063 až 2mm [% hm.] | Podíl zrn >2 mm [% hm.] |
|----------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Vzorek č. 16 | 61,2 | 5,7 | 14,5 | 41,0 | 44,5 |
| Vzorek č. 17 | 54,6 | 5,0 | 10,7 | 49,2 | 40,1 |
| Vzorek č. 18 | 57,5 | 5,5 | 11,4 | 42,8 | 45,8 |
| Vzorek č. 19 | 57,9 | 5,2 | 11,6 | 41,6 | 46,8 |
| Vzorek č. 20 | 61,6 | 5,3 | 12,3 | 36,5 | 51,2 |
| Průměrná hodnota | 58,6 | 5,4 | 12,1 | 42,2 | 45,7 |
| Rozsah (a_{max}) | 7,0 | 0,8 | 3,8 | 12,7 | 11,1 |
| Tolerance (T_{perm}) | 8,0 | 1,0 | 6,0 | 16,0 | 16,0 |
| Max. R-mat. (Z_{poss}) | 57% | 44% | 52% | 42% | 48% |

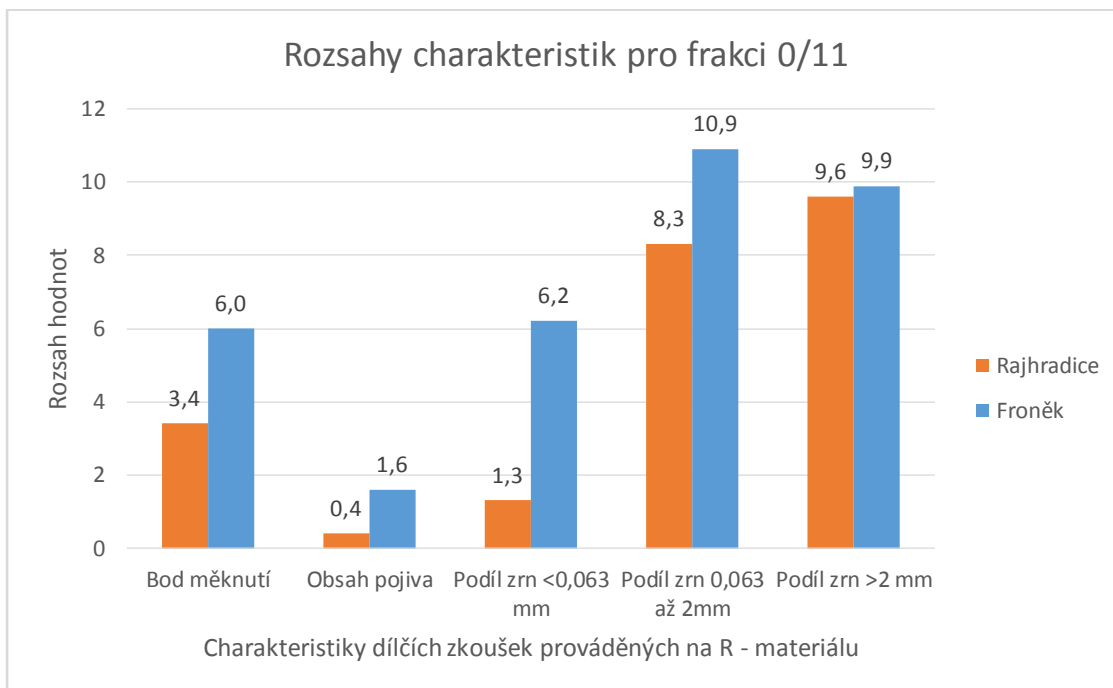
Z výsledku vyplývá, že R- materiál používaný na frakci 0/11 má podobné charakteristické vlastnosti. Rozsahy dílčích charakteristik jsou přiměřené. Výsledkem je,

že lze přidávat až 42% recyklátu frakce 0/11 do asfaltových směsí určené pro asfaltové obrusné vrstvy. Jelikož se jedná o dlouhodobé srovnání dílčích výsledků, není v tomto případě celkový výsledek ovlivněn odběrem vzorků. Na Obrázek 25 je tento výsledek znázorněn graficky pomocí nomogramu.

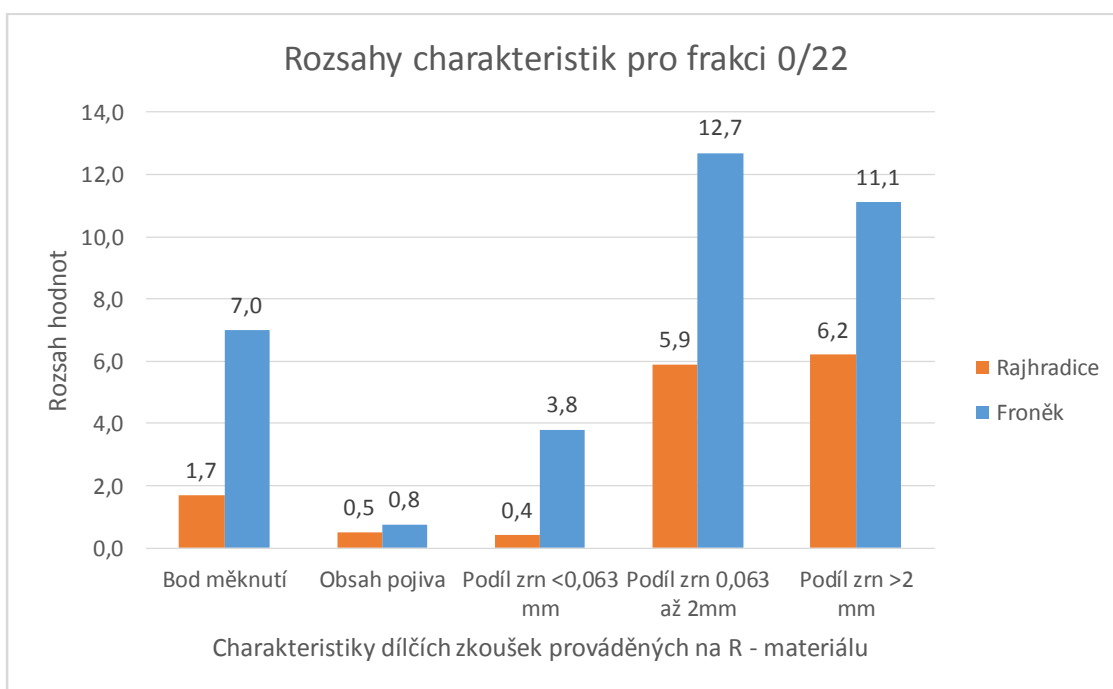


Obrázek 25 - Nomogram (frakce 0/11, obalovna Froněk)

Rozsahy jednotlivých charakteristik parametrů jsou vyneseny ve sloupcových grafech (Graf 1 a Graf 2). Grafy jsou rozděleny podle frakcí 0/11 a 0/22.



Graf 1 - Porovnání rozsahů dílčích charakteristik pro frakci 0/11



Graf 2 - Porovnání rozsahů dílčích charakteristik pro frakci 0/22

6 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Cílem bakalářské práce bylo provést dle dostupné domácí a zahraniční literatury vstupní zkoušky parametrů R-materiálu odebraného na obalovně a na základě získaných informací odvodit maximální možné dávkování R – materiálu do za horka vyráběných asfaltových směsí.

V praktické části jsou podrobněji popsány zkoušky prováděné na odebraných dílčích vzorcích R- materiálu. Výsledkem těchto zkoušek je stanovení rozsahů dílčích charakteristik R – materiálu a následné stanovení maximálního možného přidání R-materiálu do nových asfaltových směsí.

Vzorky frakcí 0/11 a 0/22 byly odebrány na dvou obalovnách pro jejich vzájemné porovnání. První sada vzorků byla získána v Jihomoravské obalovně s.r.o. se sídlem v Rajhradcích. Druhou sadu vzorků poskytla obalovna Brant firmy Froněk s.r.o.. Cílem bylo zjistit variabilitu sledovaných parametrů R-materiálu a tyto vyhodnotit podle nomogramů získaných z německých předpisů. Na základě dosažených výsledků poté případně doporučit používání těchto nomogramů i v České republice.

Na obalovně v Rajhradcích byly odebrány vzorky z hromad předrceného a přetříděného materiálu, jednalo se o frakce R-materiálu 0/11 a 0/22. Z dosažených výsledků vyplývá, že materiál je velmi homogenní a pro použití do ložních a podkladních vrstev by bylo možné teoreticky použít až 94 % R-mat., do obrusných vrstev pak 66 %.

U obalovny firmy Froněk s.r.o. se vycházelo z celoročního sledování variability R-materiálu. Zde byla z nomogramů odvozena v porovnání s výsledky z Rajhradic podstatně nižší přípustná množství R-materiálu jak do obrusných vrstev (42 %) tak i pak do ložních a podkladních vrstev (36 %). Variabilita jednotlivých sledovaných parametrů z obou obaloven je porovnána ve sloupcových grafech 1 a 2.

Výsledky analýzy R-materiálu ukázaly dobrou vypovídací schopnost použitých nomogramů, z čehož lze odvodit doporučení pro jejich zavedení v praxi i na obalovnách v České republice. Výsledky z obalovny firmy Froněk s.r.o. jsou pak o to cennější, že je lze přímo aplikovat do praxe, protože obalovna je vybavena paralelním sušícím bubnem umožňující vysoké dávkování R-materiálu.

Pokud budou dodržovány podmínky získávání a uchování R – materiálu, je možné upravit stávající předpisy a umožnit tak výrobcům přidávat vyšší obsah tohoto materiálu do nových asfaltových směsí. Zpracovatelé asfaltových směsí poté budou moci výrazněji investovat do nových technologií (např. paralelní sušící bubny) a šetřit svoje náklady na výrobu.

Dalším důležitým úkolem je přesvědčit investory výstavby vozovek o tom, že R – materiál není odpad a je možné ho znovu zpracovávat do výroby, aniž by byla snížena kvalita.

Doufejme, že se i Česká republika přiblíží trendu lepšího využití R – materiálu.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VARAUS, Michal. Metodika aplikace R-materiálu v asfaltových směsích. 2014.
- [2] Rešerše literatury – recyklace asfaltových směsí, zpráva za rok 2012, Technologická agentura české republiky
- [3] VARAUS, M. Recyklace netuhých vozovek, Pozemní komunikace II. Brno: VUT Brno, FAST, Ústav pozemních komunikací, 2012. Přednáška.
- [4] TP 208, Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena. Ministerstvo dopravy ČR, 2009.
- [5] Recyklér za studena 2200CR Univerzální stroj pro obnovu vozovek <http://www.cnes.cz/files/prospekt2009.pdf>
- [6] Vlastní fotodokumentace
- [7] Wirtgen cold recycling technology, dostupné z: [online]. [cit. 19. 5. 2015]. http://media.wirtgen-group.com/media/02_wirtgen/infomaterial_1/kaltrecycler/kaltrecycling_technologie/kaltrecycling_handbuch/Kaltrecycling_Handbuch_EN.pdf
- [8] Chapter 13. Cold in – place recycling (Construction methods and equipment)
- [9] Mobilní recyklační míchačí zařízení dostupné z: [online]. [cit. 10. 5. 2015]. http://media.wirtgen-group.com/media/02_wirtgen/infomaterial_1/kaltrecycler/mischanlage/kma_220/BR_KMA220_DE.pdf
- [10] TP 209, Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek na místě za horka. MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, 2009.
- [11] The World of Wirtgen Hot Recyclers, dostupné z: [online]. [cit. 10. 5. 2015]. http://media.wirtgen-group.com/media/02_wirtgen/infomaterial_1/heissrecycler/hei_recycling_technologie/welt_der_wirtgen_heissrecycler/BR_Heissrecycler_EN.pdf
- [12] Chapter 5. Hot mix asphalt recycling – Batch plant (Construction methods and equipment)
- [13] ČSN EN 13108-1. Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [14] Přehled obaloven firmy AMMANN, dostupné z: [online]. [cit. 11. 5. 2015]. http://www.ammann-group.cz/fileadmin/ammann/syncfiles/International/images/ammann_asphalt_mixing-plant_brochure_cz.pdf
- [15] Chapter 6. Hot mix asphalt recycling – Drum plant (Construction methods and

equipment)

[16] ČSN EN 932 – 1- Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 1: Metody odběru vzorků. Praha: Český normalizační institut, 2001.

[17] ČSN EN 12697-28. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 28: Příprava vzorků pro stanovení obsahu pojiva, obsahu vody a zrnitosti. Praha: Český normalizační institut, 2002.

[18] ČSN EN 12697-1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 1: Obsah rozpustného pojiva. Praha: Český normalizační institut, 2006.

[19] ČSN EN 12697-3. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva: Rotační vakuové destilační zařízení. Praha: Český normalizační institut, 2006.

[20] ČSN EN 1427. Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička. Praha: Český normalizační institut, 2007.

[21] ČSN EN 1426. Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou. Praha: Český normalizační institut, 2007.

[22] ČSN EN 933-1+A1. Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor. Praha: Český normalizační institut, 2006.

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 - Varianta dávkování cementu před strojem [5]..... | 15 |
| Obrázek 2 - Sestava recykléru s hladicí lištou a cisternou [6] | 16 |
| Obrázek 3 - Sestava zemního recykléru, grejdrů a válců [7] | 16 |
| Obrázek 4 - Pracovní sestava cisterny, recykléru a vibračního válce [7] | 17 |
| Obrázek 5 - Mobilní recyklační míchací zařízení [9] | 18 |
| Obrázek 6 - Metoda Remix [11] | 20 |
| Obrázek 7 - Metoda Remix Plus [11] | 20 |
| Obrázek 8 - Šaržová obalovna [14]..... | 23 |
| Obrázek 9 - Granulátor R – materiálu [6]..... | 24 |
| Obrázek 10 - Zastřešení R – materiálu [12] | 25 |
| Obrázek 11 - R-materiál se přidává souběžně s proudem horkého [3]..... | 26 |
| Obrázek 12 – Dávkování R – materiálu proti proudu horkého vzduchu [3] | 26 |
| Obrázek 13 - Separátní vysoušení R-materiálu, míchání v míchačce [3]..... | 26 |
| Obrázek 14 - Nomogram pro asfaltové obrusné a ložní vrstvy [1] | 30 |
| Obrázek 15 - Nomogram pro asfaltové podkladní vrstvy [1]..... | 30 |
| Obrázek 16 - Příklad stanovení maximálního množství přidávaného R-materiálu [1] .. | 32 |
| Obrázek 17 - Kvartace laboratorního vzorku [6] | 34 |
| Obrázek 18 - Odstředivka na extrahování asfaltového pojiva [6]..... | 36 |
| Obrázek 19 - Rotační vakuové destilační zařízení [6] | 37 |
| Obrázek 20 - Protážení pojiva během zkoušky [6] | 39 |
| Obrázek 21- Prosévací přístroj kameniva [6] | 42 |
| Obrázek 22- Nomogram (frakce 0/22, obalovna Rajhradice) | 44 |
| Obrázek 23 - Nomogram (frakce 0/11, obalovna Rajhradice) | 46 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 24 - Nomogram (frakce 0/22, obalovna Froněk) | 47 |
| Obrázek 25 - Nomogram (frakce 0/11, obalovna Froněk) | 49 |

9 SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 - Vhodnost použití recyklačních technologií | 13 |
| Tabulka 2 – Užití recyklovaných vrstev s použitím pojiva dle TP 209 [4] | 14 |
| Tabulka 3 – Užití recyklovaných asfaltových vrstev ve vozovce [10] | 21 |
| Tabulka 4 – Nejvyšší přípustný obsah R – materiálu v asfaltové směsi [13] | 22 |
| Tabulka 5 - Celkové tolerance T_{perm} příslušných charakteristiky v závislosti na typu asf. směsi [2] | 28 |
| Tabulka 6 - Příklad pro charakteristiky R-materiálu [1] | 31 |
| Tabulka 7 - Naměřené charakteristiky vzorků z frakce 0/22, Rajhradice | 43 |
| Tabulka 8 - Naměřené charakteristiky vzorků z frakce 0/11, Rajhradice | 45 |
| Tabulka 9 - Naměřené charakteristiky vzorků z frakce 0/22, Froněk | 47 |
| Tabulka 10 - Naměřené charakteristiky vzorků z frakce 0/11, Froněk | 48 |

10 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Porovnání rozsahů dílčích charakteristik pro frakci 0/11 50

Graf 2 - Porovnání rozsahů dílčích charakteristik pro frakci 0/22 50

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

| | |
|--------|---------------------------------------|
| kap. | kapitola |
| max. | maximálně |
| min. | minimálně |
| mm | milimetr |
| g | gram |
| kPa | kilopascal |
| ml | mililitr |
| obr. | obrázek |
| p.j. | penetrační jednotka, 1 p. j. = 0,1 mm |
| pozn. | poznámka |
| R-mat. | R-materiál |
| tab. | tabulka |
| asf | asfaltová |

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Stanovení obsahu jemných částic a síťový rozbor

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

Vzorek č. 1

| | |
|---|-------------|
| Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1): | 2049,7 |
| Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2): | 1827,1 |
| Hmotnost propadu jemných částic na dně (P): | 19,4 |
| Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 (\%)$ | 11,8 |

2. Stanovení zrnitosti:

| Vel.ok síť | Zbytky | Zbytky | Celkové zbytky | Propad |
|------------|----------------------------|--------|----------------|-------------|
| [mm] | [g] | [%]hm. | [%]hm. | [%]hm. |
| 125 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 90 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 63 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 45 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 31,5 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 22,4 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 16 | 14,2 | 1 | 1 | 99 |
| 11,2 | 106,3 | 5 | 6 | 94 |
| 8 | 180,3 | 8,8 | 14,7 | 85,3 |
| 5,6 | 0,0 | 0,0 | 14,7 | 85,3 |
| 4 | 345,3 | 16,9 | 31,5 | 68,5 |
| 2 | 289,4 | 14,1 | 45,7 | 54,3 |
| 1 | 286,4 | 14,0 | 59,7 | 40,3 |
| 0,5 | 227,6 | 11,1 | 70,8 | 29,2 |
| 0,25 | 169,0 | 8,3 | 79,0 | 21,0 |
| 0,125 | 120,4 | 5,9 | 84,9 | 15,1 |
| 0,063 | 67,4 | 3,3 | 88,2 | 11,8 |
| Dno | síťový rozbor P | 19,4 | 100,0 | 0,0 |
| Dno | jemné částice (M1 - M2) | 222,6 | | |
| Celkem | | 2048,3 | | |

Zkoušku provedl: Martin Tuháček

Podmínky prostředí:
Teplota: 23°C

Datum: 27.3.2015

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

Vzorek č. 2

| | |
|---|-------------|
| Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1): | 2133,5 |
| Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2): | 1942,2 |
| Hmotnost propadu jemných částic na dně (P): | 36,3 |
| Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 (\%)$ | 10,7 |

2. Stanovení zrnitosti:

| Vel.ok síť | Zbytky | Zbytky | Celkové zbytky | Propad |
|------------|----------------------------|--------|----------------|-------------|
| [mm] | [g] | [%]hm. | [%]hm. | [%]hm. |
| 125 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 90 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 63 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 45 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 31,5 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 22,4 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 16 | 33,0 | 2 | 2 | 98 |
| 11,2 | 123,3 | 6 | 7 | 93 |
| 8 | 223,0 | 10,5 | 17,8 | 82,2 |
| 5,6 | 0,0 | 0,0 | 17,8 | 82,2 |
| 4 | 413,0 | 19,4 | 37,2 | 62,8 |
| 2 | 293,6 | 13,8 | 51,0 | 49,0 |
| 1 | 258,5 | 12,1 | 63,1 | 36,9 |
| 0,5 | 202,4 | 9,5 | 72,6 | 27,4 |
| 0,25 | 157,2 | 7,4 | 80,0 | 20,0 |
| 0,125 | 122,4 | 5,7 | 85,7 | 14,3 |
| 0,063 | 76,9 | 3,6 | 89,3 | 10,7 |
| Dno | síťový rozbor P | 36,3 | 100,0 | 0,0 |
| Dno | jemné částice (M1 - M2) | 191,3 | | |
| Celkem | | 2130,9 | | |

Zkoušku provedl: Martin Tuháček

Podmínky prostředí:
Teplota: 23°C

Datum: 25.3.2015

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

Vzorek č. 3

| | |
|---|-------------|
| Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1): | 1917,0 |
| Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2): | 1738,4 |
| Hmotnost propadu jemných částic na dně (P): | 22,3 |
| Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 (\%)$ | 10,5 |

2. Stanovení zrnitosti:

| Vel.ok síť | Zbytky | Zbytky | Celkové zbytky | Propad |
|------------|----------------------------------|--------|----------------|-------------|
| [mm] | [g] | [%]hm. | [%]hm. | [%]hm. |
| 125 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 90 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 63 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 45 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 31,5 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 22,4 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 16 | 6,9 | 0 | 0 | 100 |
| 11,2 | 117,1 | 6 | 6 | 94 |
| 8 | 269,2 | 14,1 | 20,5 | 79,5 |
| 5,6 | 0,0 | 0,0 | 20,5 | 79,5 |
| 4 | 411,5 | 21,5 | 42,0 | 58,0 |
| 2 | 255,0 | 13,3 | 55,3 | 44,7 |
| 1 | 214,4 | 11,2 | 66,5 | 33,5 |
| 0,5 | 158,0 | 8,2 | 74,8 | 25,2 |
| 0,25 | 122,5 | 6,4 | 81,1 | 18,9 |
| 0,125 | 99,3 | 5,2 | 86,3 | 13,7 |
| 0,063 | 61,0 | 3,2 | 89,5 | 10,5 |
| Dno | síťový rozbor P | 22,3 | 100,0 | 0,0 |
| Dno | jemné částice ($M_1 - M_2$) | 178,6 | | |
| Celkem | | 1915,8 | | |

Zkoušku provedl: Martin Tuháček

Podmínky prostředí:
Teplota: 23°C

Datum: 31.3.2015

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

Vzorek č. 4

| | |
|---|-------------|
| Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1): | 1930,0 |
| Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2): | 1725,7 |
| Hmotnost propadu jemných částic na dně (P): | 20,8 |
| Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 (\%)$ | 11,7 |

2. Stanovení zrnitosti:

| Vel.ok síť | Zbytky | Zbytky | Celkové zbytky | Propad |
|------------|----------------------------|--------|----------------|-------------|
| [mm] | [g] | [%]hm. | [%]hm. | [%]hm. |
| 125 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 90 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 63 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 45 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 31,5 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 22,4 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 16 | 30,6 | 2 | 2 | 98 |
| 11,2 | 138,2 | 7 | 9 | 91 |
| 8 | 184,4 | 9,6 | 18,3 | 81,7 |
| 5,6 | 0,0 | 0,0 | 18,3 | 81,7 |
| 4 | 363,9 | 18,9 | 37,2 | 62,8 |
| 2 | 204,7 | 10,6 | 47,8 | 52,2 |
| 1 | 219,3 | 11,4 | 59,2 | 40,8 |
| 0,5 | 222,6 | 11,6 | 70,8 | 29,2 |
| 0,25 | 161,4 | 8,4 | 79,2 | 20,8 |
| 0,125 | 113,9 | 5,9 | 85,1 | 14,9 |
| 0,063 | 62,7 | 3,3 | 88,3 | 11,7 |
| Dno | síťový rozbor P | 20,8 | 100,0 | 0,0 |
| Dno | jemné částice (M1 - M2) | 204,3 | | |
| Celkem | | 1926,8 | | |

Zkoušku provedl: Martin Tuháček

Podmínky prostředí:
Teplota: 24°C

Datum: 17.4.2015

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

Vzorek č. 5

| | |
|---|-------------|
| Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1): | 1877,0 |
| Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2): | 1659,2 |
| Hmotnost propadu jemných částic na dně (P): | 2,7 |
| Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 (\%)$ | 11,7 |

2. Stanovení zrnitosti:

| Vel.ok síť | Zbytky | Zbytky | Celkové zbytky | Propad |
|------------|----------------------------|--------|----------------|-------------|
| [mm] | [g] | [%]hm. | [%]hm. | [%]hm. |
| 125 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 90 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 63 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 45 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 31,5 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 22,4 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 16 | 14,7 | 1 | 1 | 99 |
| 11,2 | 110,4 | 6 | 7 | 93 |
| 8 | 218,0 | 11,6 | 18,3 | 81,7 |
| 5,6 | 256,5 | 13,7 | 32,0 | 68,0 |
| 4 | 115,1 | 6,1 | 38,1 | 61,9 |
| 2 | 273,3 | 14,6 | 52,7 | 47,3 |
| 1 | 225,5 | 12,0 | 64,7 | 35,3 |
| 0,5 | 166,9 | 8,9 | 73,6 | 26,4 |
| 0,25 | 125,7 | 6,7 | 80,3 | 19,7 |
| 0,125 | 91,1 | 4,9 | 85,1 | 14,9 |
| 0,063 | 58,6 | 3,1 | 88,2 | 11,8 |
| Dno | síťový rozbor P | 2,7 | 100,0 | 0,0 |
| Dno | jemné částice (M1 - M2) | 217,8 | | |
| Celkem | | 1876,3 | | |

Zkoušku provedl: Martin Tuháček

Podmínky prostředí:
Teplota: 20°C

Datum: 29.4.2015

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

Vzorek č. 6

| | |
|---|-------------|
| Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1): | 2014,6 |
| Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2): | 1798,6 |
| Hmotnost propadu jemných částic na dně (P): | 42,5 |
| Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 (\%)$ | 12,8 |

2. Stanovení zrnitosti:

| Vel.ok síť | Zbytky | Zbytky | Celkové zbytky | Propad | |
|------------|----------------------------|--------|----------------|-------------|-----|
| [mm] | [g] | [%]hm. | [%]hm. | [%]hm. | |
| 125 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 90 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 63 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 45 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 31,5 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 22,4 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 16 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 11,2 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 8 | 15,8 | 0,8 | 0,8 | 99,2 | |
| 5,6 | 0,0 | 0,0 | 0,8 | 99,2 | |
| 4 | 415,5 | 20,6 | 21,4 | 78,6 | |
| 2 | 364,9 | 18,1 | 39,6 | 60,4 | |
| 1 | 321,7 | 16,0 | 55,5 | 44,5 | |
| 0,5 | 236,2 | 11,7 | 67,3 | 32,7 | |
| 0,25 | 180,0 | 8,9 | 76,2 | 23,8 | |
| 0,125 | 130,7 | 6,5 | 82,7 | 17,3 | |
| 0,063 | 89,3 | 4,4 | 87,2 | 12,8 | |
| Dno | síťový rozbor P | 42,5 | 12,8 | 100,0 | 0,0 |
| Dno | jemné částice (M1 - M2) | 216,0 | | | |
| Celkem | | 2012,6 | | | |

Zkoušku provedl: Martin Tuháček

Podmínky prostředí:
Teplota: 23°C

Datum: 18.3.2015

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

Vzorek č. 7

| | |
|---|-------------|
| Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1): | 1891,5 |
| Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2): | 1681,2 |
| Hmotnost propadu jemných částic na dně (P): | 35,1 |
| Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 (\%)$ | 13,0 |

2. Stanovení zrnitosti:

| Vel.ok síť | Zbytky | Zbytky | Celkové zbytky | Propad | |
|------------|----------------------------|--------|----------------|-------------|-----|
| [mm] | [g] | [%]hm. | [%]hm. | [%]hm. | |
| 125 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 90 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 63 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 45 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 31,5 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 22,4 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 16 | 6,0 | 0,3 | 0,3 | 99,7 | |
| 11,2 | 1,9 | 0,1 | 0,4 | 99,6 | |
| 8 | 18,5 | 1,0 | 1,4 | 98,6 | |
| 5,6 | 0,0 | 0,0 | 1,4 | 98,6 | |
| 4 | 368,3 | 19,5 | 20,9 | 79,1 | |
| 2 | 359,0 | 19,0 | 39,9 | 60,1 | |
| 1 | 311,8 | 16,5 | 56,4 | 43,6 | |
| 0,5 | 222,9 | 11,8 | 68,2 | 31,8 | |
| 0,25 | 158,5 | 8,4 | 76,6 | 23,4 | |
| 0,125 | 119,6 | 6,3 | 82,9 | 17,1 | |
| 0,063 | 77,5 | 4,1 | 87,0 | 13,0 | |
| Dno | síťový rozbor P | 35,1 | 13,0 | 100,0 | 0,0 |
| Dno | jemné částice (M1 - M2) | 210,3 | | | |
| Celkem | | 1889,4 | | | |

Zkoušku provedl: Martin Tuháček

Podmínky prostředí:
Teplota: 23°C

Datum: 18.3.2015

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

Vzorek č. 8

| | |
|---|-------------|
| Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1): | 2003,0 |
| Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2): | 1784,4 |
| Hmotnost propadu jemných částic na dně (P): | 42,4 |
| Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 (\%)$ | 13,0 |

2. Stanovení zrnitosti:

| Vel.ok síť | Zbytky | Zbytky | Celkové zbytky | Propad | |
|------------|----------------------------|--------|----------------|-------------|-----|
| [mm] | [g] | [%]hm. | [%]hm. | [%]hm. | |
| 125 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 90 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 63 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 45 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 31,5 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 22,4 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 16 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 11,2 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 8 | 9,7 | 0,5 | 0,5 | 99,5 | |
| 5,6 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 99,5 | |
| 4 | 398,6 | 19,9 | 20,4 | 79,6 | |
| 2 | 374,6 | 18,7 | 39,1 | 60,9 | |
| 1 | 327,5 | 16,4 | 55,5 | 44,5 | |
| 0,5 | 236,2 | 11,8 | 67,3 | 32,7 | |
| 0,25 | 178,9 | 8,9 | 76,2 | 23,8 | |
| 0,125 | 130,1 | 6,5 | 82,7 | 17,3 | |
| 0,063 | 84,8 | 4,2 | 87,0 | 13,0 | |
| Dno | síťový rozbor P | 42,4 | 13,0 | 100,0 | 0,0 |
| Dno | jemné částice (M1 - M2) | 218,6 | | | |
| Celkem | | 2001,4 | | | |

Zkoušku provedl: Martin Tuháček

Podmínky prostředí:
Teplota: 23°C

Datum: 4.3.2015

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

Vzorek č. 9

| | |
|---|-------------|
| Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1): | 2054,2 |
| Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2): | 1838,1 |
| Hmotnost propadu jemných částic na dně (P): | 43,1 |
| Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 (\%)$ | 12,6 |

2. Stanovení zrnitosti:

| Vel.ok síť | Zbytky | Zbytky | Celkové zbytky | Propad |
|------------|----------------------------|--------|----------------|-------------|
| [mm] | [g] | [%]hm. | [%]hm. | [%]hm. |
| 125 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 90 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 63 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 45 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 31,5 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 22,4 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 16 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 11,2 | 2,3 | 0,1 | 0,1 | 99,9 |
| 8,0 | 22,9 | 1,1 | 1,2 | 98,8 |
| 5,6 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 98,8 |
| 4,0 | 449,3 | 21,9 | 23,1 | 76,9 |
| 2,0 | 380,1 | 18,5 | 41,7 | 58,3 |
| 1,0 | 315,6 | 15,4 | 57,0 | 43,0 |
| 0,5 | 237,5 | 11,6 | 68,6 | 31,4 |
| 0,3 | 170,5 | 8,3 | 76,9 | 23,1 |
| 0,1 | 129,3 | 6,3 | 83,2 | 16,8 |
| 0,1 | 84,8 | 4,1 | 87,4 | 12,6 |
| Dno | síťový rozbor P | 43,1 | 100,0 | 0,0 |
| Dno | jemné částice (M1 - M2) | 216,1 | | |
| Celkem | | 2051,5 | | |

Zkoušku provedl: Martin Tuháček

Podmínky prostředí:
Teplota: 23°C

Datum: 27.2.2015

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

Vzorek č. 10

| | |
|---|-------------|
| Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1): | 2383,0 |
| Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2): | 2121,7 |
| Hmotnost propadu jemných částic na dně (P): | 41,2 |
| Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 (\%)$ | 12,7 |

2. Stanovení zrnitosti:

| Vel.ok síť | Zbytky | Zbytky | Celkové zbytky | Propad |
|------------|----------------------------|--------|----------------|-------------|
| [mm] | [g] | [%]hm. | [%]hm. | [%]hm. |
| 125 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 90 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 63 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 45 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 31,5 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 22,4 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 16 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 11,2 | 3,3 | 0,1 | 0,1 | 99,9 |
| 8,0 | 34,2 | 1,4 | 1,6 | 98,4 |
| 5,6 | 0,0 | 0,0 | 1,6 | 98,4 |
| 4,0 | 638,3 | 26,9 | 28,4 | 71,6 |
| 2,0 | 401,4 | 16,9 | 45,3 | 54,7 |
| 1,0 | 299,4 | 12,6 | 57,9 | 42,1 |
| 0,5 | 241,4 | 10,2 | 68,1 | 31,9 |
| 0,3 | 201,4 | 8,5 | 76,5 | 23,5 |
| 0,1 | 159,3 | 6,7 | 83,2 | 16,8 |
| 0,1 | 95,9 | 4,0 | 87,3 | 12,7 |
| Dno | síťový rozbor P | 41,2 | 100,0 | 0,0 |
| Dno | jemné částice (M1 - M2) | 261,3 | | |
| Celkem | | 2377,1 | | |

Zkoušku provedl: Martin Tuháček

Podmínky prostředí:
Teplota: 23°C

Datum: 26.2.2015

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

Vzorek č. 11

| | |
|---|-------------|
| Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1): | 1795,2 |
| Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2): | 1582,4 |
| Hmotnost propadu jemných částic na dně (P): | 5,1 |
| Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 (\%)$ | 12,1 |

2. Stanovení zrnitosti:

| Vel.ok síť | Zbytky | Zbytky | Celkové zbytky | Propad | |
|------------|----------------------------|--------|----------------|-------------|-----|
| [mm] | [g] | [%]hm. | [%]hm. | [%]hm. | |
| 125 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 90 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 63 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 45 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 31,5 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 22,4 | 43,1 | 2 | 2 | 98 | |
| 16 | 36,5 | 2 | 4 | 96 | |
| 11,2 | 117,5 | 7 | 11 | 89 | |
| 8 | 180,1 | 10,0 | 21,0 | 79,0 | |
| 5,6 | 231,6 | 12,9 | 33,9 | 66,1 | |
| 4 | 111,9 | 6,2 | 40,2 | 59,8 | |
| 2 | 289,3 | 16,1 | 56,3 | 43,7 | |
| 1 | 220,6 | 12,3 | 68,6 | 31,4 | |
| 0,5 | 145,6 | 8,1 | 76,7 | 23,3 | |
| 0,25 | 96,2 | 5,4 | 82,0 | 18,0 | |
| 0,125 | 60,2 | 3,4 | 85,4 | 14,6 | |
| 0,063 | 44,1 | 2,5 | 87,9 | 12,1 | |
| Dno | síťový rozbor P | 5,1 | 12,1 | 100,0 | 0,0 |
| Dno | jemné částice (M1 - M2) | 212,8 | | | |
| Celkem | | 1794,6 | | | |

Zkoušku provedl: Martin Tuháček

Podmínky prostředí:
Teplota: 20°C

Datum: 29.4.2015

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

Vzorek č. 12

| | |
|---|-------------|
| Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1): | 1851,9 |
| Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2): | 1645,7 |
| Hmotnost propadu jemných částic na dně (P): | 1,0 |
| Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 (\%)$ | 11,2 |

2. Stanovení zrnitosti:

| Vel.ok síť | Zbytky | Zbytky | Celkové zbytky | Propad | |
|------------|----------------------------|--------|----------------|-------------|-----|
| [mm] | [g] | [%]hm. | [%]hm. | [%]hm. | |
| 125 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 90 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 63 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 45 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 31,5 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 22,4 | 0,0 | 0 | 0 | 100 | |
| 16 | 30,0 | 2 | 2 | 98 | |
| 11,2 | 145,5 | 8 | 9 | 91 | |
| 8 | 276,3 | 14,9 | 24,4 | 75,6 | |
| 5,6 | 307,0 | 16,6 | 41,0 | 59,0 | |
| 4 | 116,7 | 6,3 | 47,3 | 52,7 | |
| 2 | 282,5 | 15,3 | 62,5 | 37,5 | |
| 1 | 180,5 | 9,7 | 72,3 | 27,7 | |
| 0,5 | 118,5 | 6,4 | 78,7 | 21,3 | |
| 0,25 | 88,6 | 4,8 | 83,5 | 16,5 | |
| 0,125 | 59,3 | 3,2 | 86,7 | 13,3 | |
| 0,063 | 39,5 | 2,1 | 88,8 | 11,2 | |
| Dno | síťový rozbor P | 1,0 | 11,2 | 100,0 | 0,0 |
| Dno | jemné částice (M1 - M2) | 206,2 | | | |
| Celkem | | 1851,6 | | | |

Zkoušku provedl: Martin Tuháček

Podmínky prostředí:
Teplota: 21°C

Datum: 30.4.2015

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

Vzorek č. 13

| | |
|---|------------|
| Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1): | 1793,6 |
| Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2): | 1690,0 |
| Hmotnost propadu jemných částic na dně (P): | 1,9 |
| Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 (\%)$ | 5,9 |

2. Stanovení zrnitosti:

| Vel.ok síť | Zbytky | Zbytky | Celkové zbytky | Propad |
|------------|----------------------------|--------|----------------|-------------|
| [mm] | [g] | [%]hm. | [%]hm. | [%]hm. |
| 125 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 90 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 63 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 45 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 31,5 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 22,4 | 32,4 | 2 | 2 | 98 |
| 16 | 56,3 | 3 | 5 | 95 |
| 11,2 | 114,3 | 6 | 11 | 89 |
| 8 | 208,8 | 11,6 | 23,0 | 77,0 |
| 5,6 | 300,2 | 16,7 | 39,7 | 60,3 |
| 4 | 124,4 | 6,9 | 46,6 | 53,4 |
| 2 | 298,3 | 16,6 | 63,3 | 36,7 |
| 1 | 207,3 | 11,6 | 74,8 | 25,2 |
| 0,5 | 141,5 | 7,9 | 82,7 | 17,3 |
| 0,25 | 99,3 | 5,5 | 88,3 | 11,7 |
| 0,125 | 63,8 | 3,6 | 91,8 | 8,2 |
| 0,063 | 41,0 | 2,3 | 94,1 | 5,9 |
| Dno | síťový rozbor P | 1,9 | 100,0 | 0,0 |
| Dno | jemné částice (M1 - M2) | 103,6 | | |
| Celkem | | 1793,1 | | |

Zkoušku provedl: Martin Tuháček

Podmínky prostředí:
Teplota: 21°C

Datum: 30.4.2015

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

Vzorek č. 14

| | |
|---|------------|
| Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1): | 1738,6 |
| Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2): | 1626,2 |
| Hmotnost propadu jemných částic na dně (P): | 1,6 |
| Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 (\%)$ | 6,6 |

2. Stanovení zrnitosti:

| Vel.ok síť | Zbytky | Zbytky | Celkové zbytky | Propad |
|------------|----------------------------|--------|----------------|-------------|
| [mm] | [g] | [%]hm. | [%]hm. | [%]hm. |
| 125 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 90 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 63 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 45 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 31,5 | 0,0 | 0 | 0 | 100 |
| 22,4 | 122,5 | 7 | 7 | 93 |
| 16 | 57,8 | 3 | 10 | 90 |
| 11,2 | 89,4 | 5 | 16 | 84 |
| 8 | 153,1 | 8,8 | 24,3 | 75,7 |
| 5,6 | 242,4 | 13,9 | 38,3 | 61,7 |
| 4 | 112,1 | 6,5 | 44,7 | 55,3 |
| 2 | 260,1 | 15,0 | 59,7 | 40,3 |
| 1 | 201,9 | 11,6 | 71,3 | 28,7 |
| 0,5 | 157,6 | 9,1 | 80,4 | 19,6 |
| 0,25 | 117,3 | 6,7 | 87,1 | 12,9 |
| 0,125 | 67,5 | 3,9 | 91,0 | 9,0 |
| 0,063 | 42,1 | 2,4 | 93,4 | 6,6 |
| Dno | síťový rozbor P | 1,6 | 100,0 | 0,0 |
| Dno | jemné částice (M1 - M2) | 112,4 | | |
| Celkem | | 1737,8 | | |

Zkoušku provedl: Martin Tuháček

Podmínky prostředí:
Teplota: 23°C

Datum: 21.5.2015