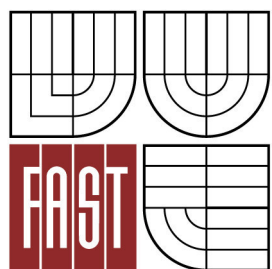




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

EXPERIMENTÁLNÍ NAVRHOVÁNÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

EXPERIMENTAL DESIGN OF ASPHALT MIXTURES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN NĚMEC

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Jan Němec
Název	Experimentální navrhování asfaltových směsí
Vedoucí diplomové práce	doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2015
Datum odevzdání diplomové práce	15. 1. 2016
V Brně dne 31. 3. 2015	

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

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

Podklady a literatura

Silniční podklad z obalovaného drceného kameniva. Podniková norma Dopravní stavby Olomouc.

Nízkohlučný asfaltový koberec mastixový - podklady z německé literatury.

ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí

ČSN EN 12697 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka.

Sborníky z konferencí - Asfaltové vozovky 2005, 2007, 2009, 2011, 2013

Zásady pro vypracování

Studium příslušných podkladů.

Zkoušení vstupních materiálů.

Návrh asfaltových směsí.

Zkoušení asfaltových směsí podle příslušných norem.

Přehled výsledků a závěry.

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 diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá experimentálními návrhy asfaltových směsí. První část je věnována návrhu nízkohlučných asfaltových směsí. V teoretické části je popsána problematika hluku a metody měření hladiny hluku. Jsou zde také specifikovány charakteristiky jednotlivých asfaltových směsí s nižší hlučností. Praktická část se zabývá experimentálním návrhem směsi SMA 8 LA. Následně je tato směs podrobena funkčním zkouškám asfaltových směsí a výsledky porovnány s požadavky na běžné směsi typu SMA 8 S. Druhá část diplomové práce se věnuje především experimentálnímu návrhu směsi typu obalovaný makadam (OM). Je zde řešena především problematika stékavosti pojiva při míchání a podíl drcených zrn při hutnění. Předností této vrstvy je finanční nenáročnost způsobena nižším obsahem pojiva a menším množstvím drobného kameniva. Tato směs by měla sloužit jako podkladní vrstva pro nízkozatížené vozovky. V závěru práce jsou poté zhodnoceny poznatky a zkušenosti s přípravou a se zkoušením jednotlivých směsí získané během návrhů.

Klíčová slova

Nízkohlučné asfaltové směsí, SMA LA, funkční zkoušky asfaltových směsí, obalovaný makadam OM

Abstract

The diploma thesis is focused on an experimental design of low-noise asphalt mixtures. The theoretical part describes the problems of noise and methods for noise measurements. There are also specified the characteristics of various low-noise asphalt mixtures. The practical part addresses the experimental design of SMA 8 LA. Subsequently, the mixture is exposed to functional testing and the results are afterwards compared with the conventional type of stone mastix asphalt SMA 8 S. The second part is focused primarily on an experimental mixture design of a specific asphalt mixture type - coated macadam. There is especially solved the issue of binder drainage and the proportion of cracked grains during the compaction. The advantage of this mixture is the lower price demands caused by lower binder content and a smaller amount of fine aggregate. This mixture should be used as a base layer for low-loaded (traffic) roads. In the conclusion are thereafter evaluated the knowledge and the experience with the testing and designing of individual mixtures gained during the testing.

Keywords

Low noise asphalt mixtures, SMA LA, functional testing of asphalt mixtures, coated macadam OM

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Jan Němec *Experimentální navrhování asfaltových směsí*. Brno, 2015. XX s., YY s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus

.

Prohlášení:

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

V Brně dne 17.12.2015

.....
podpis autora
Bc. Jan Němec

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 17.12.2015

.....
podpis autora
Bc. Jan Němec

Poděkování:

Tímto chci poděkovat vedoucímu mé práce doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi. Jeho profesionální přístup a cenné rady byly pro tuto práci neocenitelné. Velké díky patří také Ing. Tomášovi Koudelkovi, především za jeho ochotu a odbornou pomoc v laboratoři. Ještě bych moc rád poděkoval panu Pavlovi Strakovi a Matěji Šafránkovi za jejich rady a pomoc při práci v silniční laboratoři. Nesmím zapomenout poděkovat mé rodině, která mě během celého studia podporovala za což jsem moc vděčný.

Obsah

1. ÚVOD	10
2. CÍLE PRÁCE	11
3. TEORETICKÁ ČÁST.....	11
3.1 Měření hladiny hluku	11
3.2 Nízkohlučné asfaltové směsi.....	15
3.3 Obalovaný makadam.....	31
4. PRAKTICKÁ ČÁST	32
4.1 Nízkohlučný koberec mastixový SMA 8 LA.....	32
4.2 Obalovaný makadam.....	34
5. LABORATORNÍ ZKOUŠKY – Směs SMA LA 8	36
5.1 Kameniva	36
5.2 Pojiva	40
5.3 Asfaltové směsi	43
6. LABORATORNÍ ZKOUŠKY – Obalovaný makadam	65
6.1 Kamenivo	65
6.2 Pojivo	67
6.3 Asfaltové směsi	69
7. ZÁVĚR.....	79
8. LITERATURA.....	81
9. SEZNAM OBRÁZKŮ	85
10. SEZNAM TABULEK.....	88
11. SEZNAM GRAFŮ	90
12. SEZNAM ROVNIC	91
13. SEZNAM PŘÍLOH	92

1. ÚVOD

První část diplomové práce se věnuje problematice hluku a hlukové zátěže. Tato problematika představuje jedno z velmi důležitých témat, jimiž se zabývá Evropská komise. Z průběžných průzkumů vyplývá, že vyspělé části Evropy mohou býti postiženy hlukem z dopravy ve velké míře. Jedná se až o 60 % zejména městské populace. V Německu se u 16 % obyvatelstva eviduje dlouhodobější zdraví škodlivé překračování povolených hladin hluku. Mezní hodnota hlukové zátěže je 55 dB(A) od 6 h do 22 h, v noci je pak 45dB(A). Významnou složkou hlukové zátěže je hluk vznikající na styku pneumatiky a povrchu vozovky. Z technického hlediska existuje několik variant jak tuto hlukovou zátěž snížit. V ČR se v menší míře zavádí technologie obrusných vrstev asfaltové vozovky se sníženou hlučností:

- **Nízkohlučné asfaltové koberce mastixové SMA 8 LA**
- Asfaltové koberce drenážní
- Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy-VIAPHONE
- Asfaltové směsi modifikované pryžovým granulátem
- Asfaltový koberec nízkohlučný LOA 5

Technologie SMA 8 LA má značný potenciál, avšak je zde problematický návrh směsi s upravenou čarou zrnitosti a vhodně modifikovanou makrotexturou. Problematika tkví ve složení čáry zrnitosti. Je složena z frakcí 0/2 a 4/8. V případě, že se použije frakce 0/4, může být problematické ovlivňovat mezerovitost. Velký vliv na vlastnosti směsi má i použité asfaltové pojivo. V praktické části je proveden návrh směsi SMA 8 LA, výsledky jsou porovnány s konvenční směsí SMA 8 S a následně je provedeno vyhodnocení jejich výhod a nevýhod.

Druhá část diplomové práce se zabývá dnes už nepoužívanou podkladní směsí typu obalovaný makadam (OM). Tato vrstva nebyla finančně náročná a předcházela vrstvě OKVH (obalované kamenivo velmi hrubé). Snahou bylo oživit používání této vrstvy s ohledem na její finanční nenáročnost.

2. CÍLE PRÁCE

První část diplomové práce má za cíl experimentální návrh směsi SMA 8 LA. Jedná se o vhodnou úpravu křivky zrnitosti a správnou volbu asfaltového pojiva. Na této směsi jsou pak provedeny funkční zkoušky:

Odolnost proti tvorbě trvalých deformací dle ČSN EN 12697-22

Stanovení nízkoteplotních vlastností dle ČSN EN 12697-46

Druhá část této práce má za cíl obnovení levné podkladní vrstvy typu obalovaný makadam. Dále pak ověření možnosti znovupoužití vrstvy jako levné podkladní vrstvy pro nízkozatížené vozovky.

3. TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Měření hladiny hluku

Měření hladiny hluku je označováno zkratkou L_p a je prováděno v jednotkách akustických decibelů dle níže uvedené rovnice (rov. 1). Rovnice je definována jako desetinásobek logaritmu poměru čtverců akustického tlaku posuzovaného zvuku (p) ke čtverci akustického tlaku nejmenšího slyšitelného zvuku ve frekvenci 1000 Hz (p_0). Pokud měření provádíme v akusticky mrtvé zkušební komoře, byla zjištěna pro průměrného člověka hodnota $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa, což odpovídá hodnotě 0 db. Pro zlepšení korelace s fyziologickým vnímáním zvuku lidským uchem definujeme akustické decibely jinak než decibely např. v elektronice. Rozdíl je v tom, že akustické decibely jsou dvakrát větší, a tak lépe odrazí fyziologickou podstatu vnímání zvuku.

$$L_p (A) = 10 \cdot \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} [db]; p_0 = 2 \cdot 10^{-5} [Pa]$$

p = sledovaný akustický tlak

p_0 = referenční akustický tlak

Rovnice 1. Měření hladiny hluku

Intenzita hluku vyjádřena kvadrátem akustického tlaku není přesně vyjádřením pocitového vnímání člověka. Násobky akustického signálu jsou uchem vnímány jako přírůstky. Naměřené hodnoty proto korigujeme na frekvenční charakteristiky signálu (Fletcher-Munsonovy/ISO křivky). [1]

Pro měření hluku, který je důsledkem automobilového provozu na pozemních komunikacích se užívají především dvě metody:

SPB - Statistical pass by method (obr. 1)

Mikrofon je umístěn v definované vzdálenosti od měřené komunikace.

CPX - Close proximity method (obr. 1)

Mikrofony jsou umístěny blízko místa styku pneumatiky a vozovky.

CPB - Controlled pass by method

Měření mikrofonom neprobíhá staticky, je užít aranžovaný průjezd jednoho nebo více zkušebních vozidel.

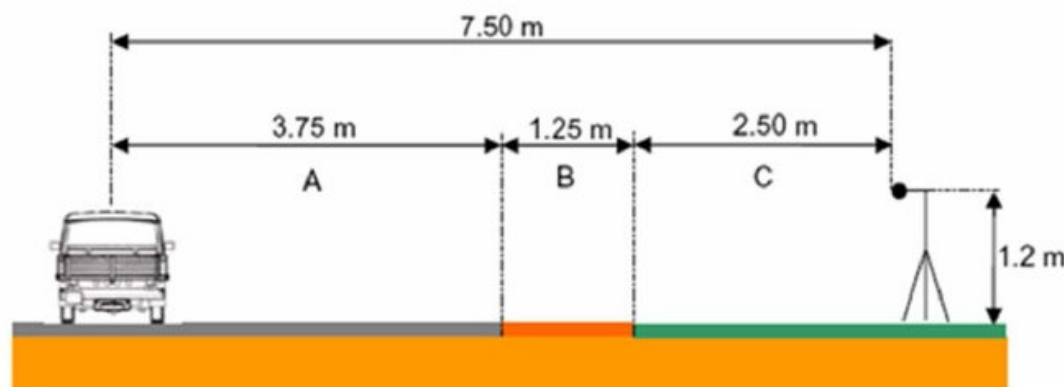


Obrázek 1. Pneumatika SRTT Metody CPX (vlevo) a metoda SPB (vpravo) [2]

Je nutno zdůraznit, že tyto metody pro posouzení akustických vlastností vozovky jsou rozdílné od hygienických měření hlukové zátěže.

3.1.1 Metoda SPB dle normy ISO 11819-1 a ISO 11819-4 [2]

Měří se současně maximální hladiny akustického tlaku A statisticky významného počtu vozidel během průjezdu určitého místa vozovky spolu s jejich rychlostí. Metoda zahrnuje 3 kategorie vozidel a 3 referenční rychlosti.



Obrázek 2. Metoda SPB [2]

Nevýhody metody:

- Statická metoda - Bodová metoda (obr. 2), neudává, jak vypadá hluková situace v jejím okolí.
- Vysoká náročnost na měřicí místo – podmínka volného akustického prostoru v okruhu 25 m kolem mikrofону (problém svodidel, PHS, budovy).
- Vyšší nejistota měření – vyšší vliv okolí pozemní komunikace.
- Nutnost práce se skladbou dopravního proudu:
 - obezřetný výběr průjezdu automobilů
 - měřená vozidla musí spadat do požadovaných kategorií
 - vozidla pouze s pohybem konstantní rychlostí – kategorizace vozidel
- Na některých komunikacích je problém jízdní rychlost dopravního proudu vzhledem ke kalibraci na referenční rychlost.
- Pro dlouhodobé porovnání výsledků je problém neustálá obměna pneumatik z hlediska jejich velikostí a dezénu.
- Při nízkých intenzitách trvá velmi dlouho nasbírání potřebného množství dat.

Výhody metody:

- Je zahrnut hluk způsobený odvalováním pneumatiky a další okolní vlivy (absorpce hluku od motoru vozovkou).
- Dobré zahrnutí vlivu všech typů vozidel.

Závěr:

Metoda SPB vyžaduje vyšší organizační a časovou náročnost měření. Použití v městské zástavbě je nevhodné a téměř nemožné. Oproti metodě CPX je dražší cena měření. Tato metoda není vhodná pro přesné srovnávací monitoringy hlučnosti povrchu vozovek z více měřících míst. Vhodnější uplatnění je aktuální hodnocení hluku šířícího se v okolí komunikace. [2]

3.1.2 Metoda CPX dle normy ISO 11819-2 a ISO 11819-3 [2]

Testovaná pneumatika je osazena na přívěsu (obr. 3) taženém za automobilem (může být namontovaná na měřící automobil). Pneumatika se nechá odvalovat po testované dráze s pěticí mikrofونů připevněných v její těsné blízkosti. Metoda je užita pro referenční rychlosti 40, 50, 80 a 100 km/h. Je zaznamenávána průměrná hladina akustického tlaku na každý dvacetimetrový segment silnice.



Obrázek 3. Metoda CPX – měřící přívěs tažený os. automobilem [2]

Nevýhody metody:

- Zaznamenání pouze hluku pneumatika/vozovka. Měření se nevztahuje na okolí komunikace. Mikrofony vzdáleny 0,3 – 0,6 m od pneumatiky.
- Horší záznam těžkých nákladních automobilů. SRTT pneumatika spíše odpovídá osobním automobilům.

- Potřeba větší délky úseku oproti statickým metodám.

Výhody metody:

- Dynamická, rychlá a přesná metoda určena pro dlouhé úseky komunikací.
- Nižší nejistota měření oproti metodě SPB.
- Nezávislost na skladbě dopravního proudu (možnost měřit i na uzavřených komunikacích).
- Nenáročnost na požadavky okolí pozemní komunikace (lze měřit na mostech, v tunelech aj.).
- Využití SRTT pneumatiky- jednotná referenční pneumatika vyráběna speciálně pro tyto testy v automobilovém průmyslu pouze jediným pracovištěm v USA. Již několik desítek let jsou zaručeny stále stejné parametry, vhodné pro dlouhodobé sledování.
- Možnost aktivně ovlivnit referenční rychlost.

Závěr:

Metoda vyžaduje vyšší požadavky na měřicí vybavení a přísnější normy. Avšak je zde nižší organizační a časová náročnost. Oproti metodě SPB je levnější cena měření. Dobré uplatnění i v extravilánu. Metoda je vhodná pro přesný srovnávací monitoring hlučnosti povrchu vozovek z více měřících míst. [2]

3.2 Nízkohlučné asfaltové směsi

V případě asfaltových vozovek máme dostatek vědomostí a technologických řešení, jak zlepšovat životní podmínky a komfort na snižování hluku od silniční dopravy. Navzdory nepřesvědčivým poznatkům u aplikace asfaltových koberců drenážních v Československu na přelomu 70 let (velmi krátká životnost této úpravy zapříčiněná nekvalitním asfaltovým pojivem) se ukazuje, že pro obrusné vrstvy lze dosáhnout výraznějšího efektu dvěma způsoby. Zvýšením mezerovitosti asfaltové směsi a vhodnou úpravou makrotextury povrchu vozovky. Ideální je kombinace těchto dvou faktorů. Touto metodou lze hladinu hluku snižovat až o 4-7dB(A) po dobu 8-10 let. U nové generace drenážních koberců lze dokonce uvažovat se snížením hlučnosti až o 8dB(A). Když by došlo k zohlednění poznatků, že redukce hladiny hluku alespoň o 5dB(A) odpovídá

snížení subjektivního vnímání hluchosti u člověka o 50 %, jsou tyto technologie správný nástroj pro omezení hlukové zátěže. Technologie úpravy obrusných vrstev má opodstatnění pouze při zohlednění dále uvedených obecných předpokladů: [3]

3.2.1 Obecné předpoklady [1], [3]

- Hluk, který vzniká na styku pneumatiky a povrchu vozovky (valivý hluk), se stává dominantní až při rychlostech mezi 30 a 40 km/h.
- Uplatnění technologií obrusných vrstev vozovky je závislé na celoročních klimatických podmínkách (rozšíření drenážních koberců např. v Nizozemsku neznamena, že stejně funkční bude i v chladnějších či hornatějších regionech).
- Hledat optimalizaci mezi mezerovitostí konstrukční vrstvy a texturou povrchu.
- U asfaltových vrstev musí být vhodná volba pojiva (vyšší pružnost, lepivost, homogenita a nižší tendence k rychlému stárnutí) a kameniva (s ohledem k různé stavbě kostry směsi).
- Nepřeceňovat potenciál pryže z odpadních pneumatik. Drcená pryž je jedno z řešení, avšak není vždy ideální.
- V případě úprav snižující hluchost nepřipustit nejlevnější řešení, požadovat dodržení technologických postupů a kázně. U asfaltových pojiv je třeba počítat s aplikací modifikovaných asfaltových pojiv a dodržení zvýšeného dávkování pojiva oproti klasickému typu asfaltové směsi.

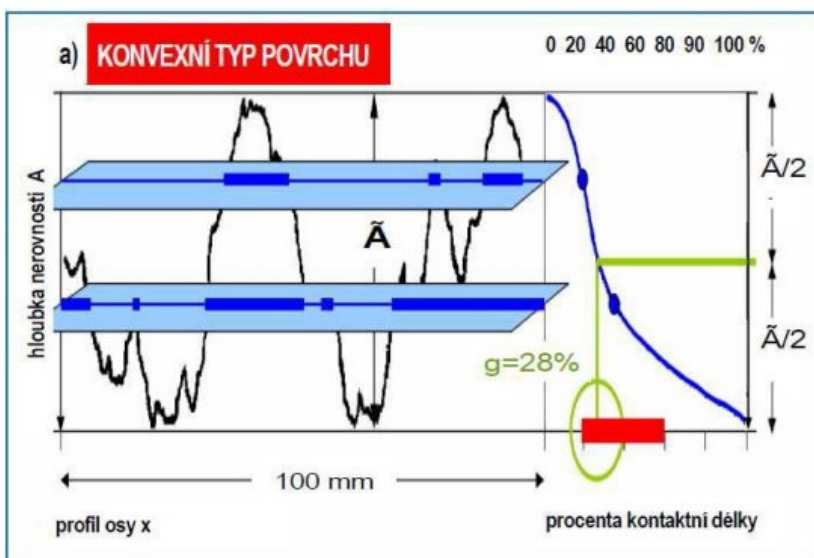
Z prvního předpokladu vyplývá, že pro účinné snižování hlukové zátěže ze silniční dopravy, je nutné se všem zdrojům věnovat stejnoměrně. Neexistuje jednoznačná převaha pouze jednoho vlivu pro všechny situace provozu na pozemních komunikacích. Pro silniční stavitelství je klíčová především střední a vyšší rychlost, kdy pro snížení hluku má největší význam styk pneumatiky a vozovky. Co se týče valivého hluku, dalším klíčovým faktorem je druh povrchu krytu vozovky, obzvláště jeho textura. [3]

Textura se měří laserovým profilometrem. Výstup z tohoto měření je texturní spektrum, které poskytuje informace pro daný úsek komunikace o distribuci vlnové délky a amplitudy. Vlnová délka udává šířku prohlubně a amplituda představuje hloubku

prohlubní. Pomocí matematické metody nazývané Fourierova analýza lze převést texturní spektrum do texturního profilu. Existují dva profily – konkávní – obr. 4 (sedla a roklinky) a konvexní – obr. 5 (hory a údolí). Zpracováním těchto údajů lze vytvořit křivky stykových ploch, ve kterých parametr g udává při zvolené hloubce řezu velikost kontaktní plochy v procentech povrchu. Pro omezení hlukových emisí je užít konkávní typ povrchu. Styčná plocha je větší, nevyvolává nadměrné vibrace běhounu, a prohlubně umožňují odvod stlačeného vzduchu. Tyto plochy jsou dosahovány především v hutnějších asfaltových úpravách. Optimální texturní spektrum pro protihlukové povrchy se nachází v hodnotách vlnové délky 4-8 mm s hloubkou nerovnosti 60-200 μm . [4]



Obrázek 4. Konkávní typ povrchu [5]

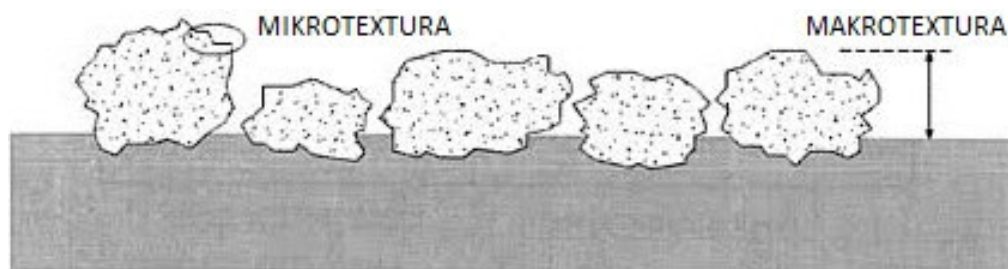


Obrázek 5. Konvexní typ povrchu [5]

Obrusné vrstvy s vhodně upravenou makrotexturou nebo vysokou mezerovitostí snižují hluk od pojezdu vozidel po vozovce absorpcí a omezením šíření hlukových vln. V případě absorpce však dosud panuje mezi odborníky nejednotný názor. Pro zařazení textury povrchu se užívají následující intervaly. [1]

Textura povrchu:

- Mikrotextura $m = 0-0,5$ mm, určená drsností povrchu (obr. 2)
- Makrotextura $m = 0,5-50$ mm, určená největším zrnem a křivkou zrnitosti (obr. 2)
- Megatextura $m = 50-500$ mm, určena technologickým provedením vrstvy

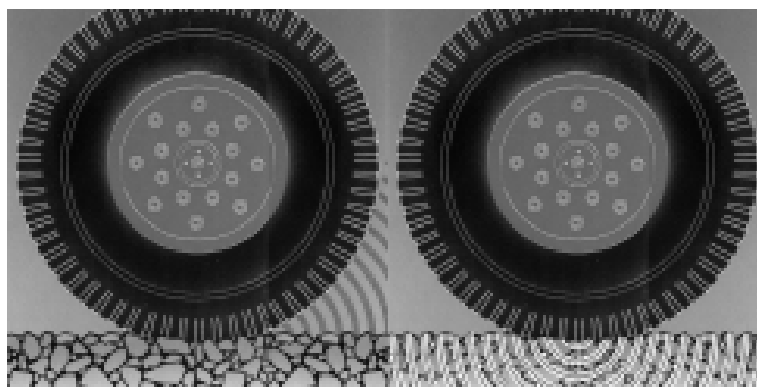


Obrázek 6. Mikrotextura a makrotextura [6]

Mikrotextura je velmi důležitá z hlediska dostatečných protismykových vlastností na styku pneumatiky a povrchu vozovky. Makrotextura má oproti tomu drenážní funkci obrusné vrstvy. Díky tomu je zajištěné dostatečné působení mikrotextury. Megatextura se uplatňuje z hlediska jízdního komfortu. Těmto třem složkám je třeba se věnovat při návrhu asfaltové směsi. Na základě textury povrchu vozovky je možné určit klíčové mechanismy, které ovlivňují vznik a šíření valivého hluku. [1]

3.2.2 Mechanismy které ovlivňují valivý hluk [1], [2]

- Air pumping (sání vzduchu) – v místě styku povrchu vozovky s dezénem pneumatik. Dezén pneumatiky při přejezdu vozovky působí jako akustický rezonátor (obr. 7). Do drážek dezénu je otáčením nasáván vzduch a následným zvyšováním tlaku je vzduch explozivně uvolňován. Hluk se zvětšuje v závislosti na schopnosti textury povrchu utěšňovat prostor kolem drážek. Tento hluk dosahuje největší amplitudy při vysokých frekvencích (1000-2000Hz) a je závislý na rychlosti. Rychlý pohyb běhounu má za následek radiální a tangenciální vibrace pneumatiky.



Obrázek 7. Vznik valivého hluku (vlevo) a pohlcení valivého hluku (vpravo) [1]

- Tření mezi povrchem a pneumatikou – při kontaktu vozovky s pneumatikou dochází kvůli častému zrychlování nebo zpomalování ke vzniku hysterziho tření. Toto smykové tření je způsobeno přenosem tahové síly z pneumatiky do povrchu vozovky.
- Radiální oscilace – Nerovnosti vozovky ve vlnových délkách 30-100 mm vyvolávají u pneumatiky tzv. radiální kmitání. Intenzita vznikajícího hluku je přímo závislá na drsnosti povrchu vozovky. Tato hluková složka má nejvyšší amplitudu při nižších frekvencích a spektrální skladba je funkcí rychlosti.
- Změna hluku pneumatik – Z dosavadních zkušeností vyplývá, že při výrobě pneumatik byly brány v potaz poznatky z opatření ke snížení hluku. Potenciál na snížení dopravního hluku je malý, tudíž je třeba se věnovat vlastnímu návrhu vozovky.

3.2.3 Typy nízkohlučných asfaltových obrusných vrstev

3.2.3.1 Nízkohlučné asfaltové koberce mastixové SMA 8 LA



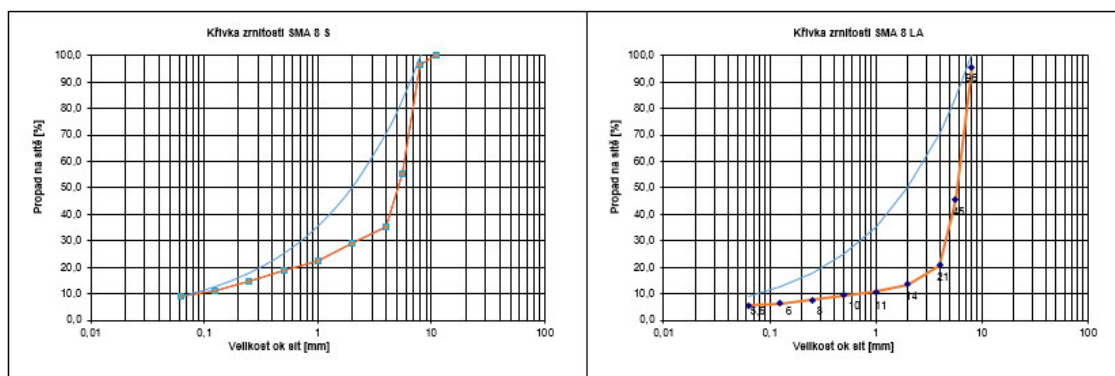
*Obrázek 8. Nízkohlučné koberce mastixové SMA 8 LA
(vlevo) a SMA 8 S (vpravo) [7]*

Speciální typ asfaltových koberců mastixových se sníženou hlučností (SMA LA) byl vyvinut v 90. letech minulého století v Německu. Tato směs (obr. 8) byla užívána jako alternativa protihlukové technologie drenážních koberců.

Přednosti směsi jsou:

- menší nároky na pravidelnou údržbu
- nižší náročnost zimní údržby
- snížené riziko zanášení mezer nečistotami

Dosud nejsou zcela k dispozici dlouhodobé zkušenosti a poznatky z provozního chování na vysoce zatížených vozovkách. V Rakousku a Německu se na těchto vozovkách uplatňovaly směsi typu LSMA 0/8 nebo LSMA 0/5. Pomocí stavebně technických úprav, týkající se textury povrchu a minimálních podélných nerovností, lze dosáhnout značného snížení hlukové emise v úrovni povrchu vozovky. Hodnota snížení hlukové emise je cca 4dB(A) oproti směsi ACO 16. Metodou CPX (měření hluku u referenčního kola v uzavřeném boxu, taženého za vozidlem předepsanou rychlostí) bylo zjištěno snížení hluku o 5-6 dB(A).



Obrázek 9. Rozdílné křivky zrnitosti SMA 8 S a SMA 8 LA

Tato směs se od klasického asfaltového koberce liší křivkou zrnitosti (obr. 9). U návrhu dochází ke snížení podílu jemných částic a užití asfaltových pojiv s vysokou lepivostí. Přidáním nejhrubší použité frakce (např. 5/8 nebo 4/8) dojde k otevření směsi a dosažení potřebné mezerovitosti 10-12 % (obr. 8). [4]

Mezerovitost této směsi je zvýšena v porovnání s klasickým SMA, který dosahuje hodnot 3 - 4,5 %. Tato vysoká mezerovitost vyžaduje zvýšit dávku emulze na 0,45 – 0,6 kg/m² a snížení mezerovitosti ložné vrstvy, aby se nemusela provádět SAMI membrána. Pokud ložná vrstva dosahuje mezerovitosti 4 – 6 %, jedná se o nepropustnou vrstvu. Jedna z největších výhod této směsi je zlepšená makrotextura. Jsou zde přísnější požadavky na kvalitu kameniva, a to jak na tvarový index tak na otlukovost, které se pohybují max. do 20%. Je nutno zdůraznit, že v porovnání s drenážním asfaltem lze tuto technologii využít pro všechny dopravní rychlosti. [1]

V případě úpravy zrnitosti 0/5 platí, že zmenšení největšího zrna je z hlediska snížení hluku výhodnější. Avšak menší zrna snižují trvanlivost a únosnost vrstvy při dopravním zatížení. Ideálně se tato vrstva aplikuje na komunikace se středním dopravním zatížením třídy II-IV.. U těchto směsí lze dosáhnout dalšího snížení hlukové zátěže oproti směsi SMA 0/8 o 2,5 dB(A). [1], [2]

3.2.3.2 Asfaltový koberec drenážní (PA)

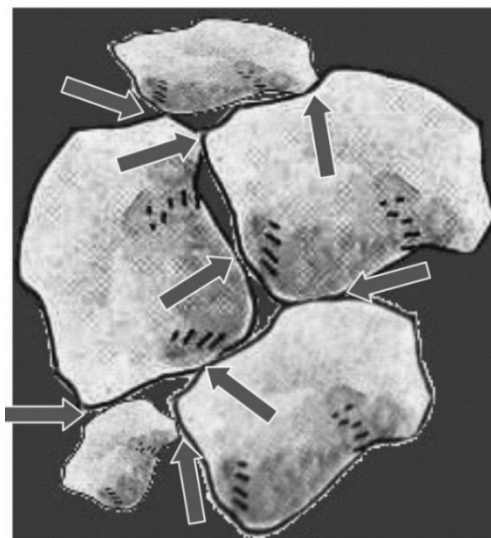


Obrázek 10. Asfaltový koberec drenážní [1]

Asfaltový koberec drenážní (obr. 10) je vysoce mezerovitá asfaltová směs (17-30 %). Zvýšená mezerovitost je způsobena upraveným návrhem čáry zrnitosti. Téměř výhradně se užívají zrna největší frakce. [2]

Dnes se preferuje, aby z důvodu nejvyšší možné mezerovitosti bylo užito 90% drceného kameniva dané frakce. Díky tomuto uspořádání vzniká omezený podíl kontaktních ploch mezi zrny, což má za následek větší namáhání kamenné kostry. Kvůli tomuto namáhání jsou přísné kvalitativní požadavky na užití kamenivo. Jedná se především o otlukovost, ohladitelnost, odolnost proti mrazu, tvarový index a pevnostní charakteristiky. Je třeba zdůraznit, že výroba směsi má náročné požadavky jak na kvalitu, tak na použité vstupní materiály a to se odráží na jejich nákladech. Proto je třeba v Rakousku a Německu povoleno jen užití kvalitního drceného kameniva. [1]

Nejčastější varianty směsi jsou PA 8, PA 11 a PA 16, přičemž za nejlepší variantu je považována směs PA11. Jemnější směs má za následek snížení oscilace pneumatik, avšak systém mezer se více uzavírá a menší mezery jsou náchylnější na zachování průchodnosti po co nejdelší čas (menší mezery se snadněji zanášejí). Významným aspektem je použité asfaltové pojivo, které má za hlavní úkol dostatečné spojení jednotlivých zrn kameniva omezenými kontaktními ploškami. Naproti směsi SMA je zde minimální podíl asfaltové malty, jež má za úkol vyplňovat prostor mezi většími zrny.



Obrázek 11. Zajištění koheze u směsi drenážního asfaltového koberce [1]

Koheze je zajištěna pojivem a vazbou mezi pojivem a zrny kameniva (obr. 11), kostra kameniva je tvořena převládající frakcí a jednotlivá zrna se o sebe navzájem opírají. [1]

Jako pojivo se dnes užívají výhradně modifikovaná vysoce viskózní asfaltová pojiva. Vykazují vynikající lepivost a dobrou odolnost proti stárnutí. K zamezení stékání pojiva jsou aplikována vhodná vlákna jako nosič pojiva. PA jsou v porovnání s jinými typy směsí náchylné na vylamování zrn, zejména při vyšších smykových silách. Mezerový systém je vzájemně propojen a umožňuje rychlé odvedení srážkové vody z povrchu vozovky. [1]

Životnost drenážních asfaltových koberců je uvažována 10 let, po uplynutí této doby je nenávratně ztracen lepší akustický potenciál. Toto je jedna z hlavních slabín této směsi. V porovnání s asfaltovými betony je směs méně hutná a při obnově je účelné provádět velkoplošné opravy. Je kladen velký důraz na správnost odvodnění, což má za následek složitější a nákladnější systém odvodnění. [1]

Z akustického hlediska jsou PA technologií, která nejvýrazněji snižují hluk. Navzdory postupnému snižování daného efektu v závislosti na čase. Snižování hluku je závislé na mnoha faktorech, z nichž jsou nejvýznamnější nadměrné znečištění a nedostatečná údržba. Nejvyšší snížení dochází při vysokých rychlostech, proto jsou drenážní koberce vhodné na rychlostní komunikace či dálnice procházející v blízkosti zastavěného území. Snížení hlukové emise je v porovnání s tradiční asfaltovou vrstvou

až 50%. Vývoj hlukové zátěže při existenci více zdrojů lze popsat následovně. Pokud dva zdroje produkují hluk každý o hodnotě 60 db, potom jejich společné působení má za následek zvýšení hluku o $3\text{db} = 6\text{db}$ (rov 2). Dosud není přesně stanovena velikost absorpční schopnosti pohlcování hluku systémem vzájemně propojených mezer.

Příklad:

$$L_1 = 60\text{ db} \quad L_2 = 60\text{ db}$$

$$L = 10 \cdot \log(2 \cdot 10^{0,1 \cdot 60}) = 63\text{ db}$$

Rovnice 2. Příklad měření hladiny hluku

Inovace této technologie je dvouvrstvý drenážní asfaltový koberec (obr. 12). Jemnozrnější horní vrstva (PA 8) zajišťuje určitou odolnost proti znečištění a spodní vrstva (PA 16) tvoří rezonanční prostor pro pohlcení hluku. [1]



Obrázek 12. Dvouvrstvý drenážní koberec, spodní vrstva tvořena PA 8 a horní vrstva tvořena PA 16 [8]

Pokládka této směsi je s ohledem na kvalitativní požadavky s konvenční technologií těžko dosažitelná. V roce 2000 v Rotterdamu byl poprvé užit upravený finišer tzv. Kompaktasphalt (obr. 13). Bylo naměřeno snížení hluku oproti obrusné vrstvě ACO 16 o

6-8 db(A) a je prodloužena životnost na dobu delší než 10 let. Tato technologie je vhodná pro pozemní komunikace s rychlostí vyšší než 50 km/h. [1]



Obrázek 13. Finišer pro pokládku dvouvrstevých drenážních koberců opatřen oddělenými násypkami [9]

3.2.3.3 Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy-VIAPHONE

Nejčastěji se tato technologie užívá v zahraničí na opravy betonových a asfaltových vozovek. Pomocí této technologie lze dosáhnout zlepšení protismykových vlastností a uzavření rozrušeného povrchu. Směs se provádí finišery za horka o tloušťce 20-30 mm. Čára zrnitosti je obdobná jako u drenážních koberců s mezerovitostí do 15 % a užitým kamenivem frakce 0/4 a 0/8. Hodnota snížení hluku je zhruba 3db(A). [10]

Tuto technologii u nás provádí firma EUROVIA CS (obr. 14)



Obrázek 14. EUROVIA CS [11]



Obrázek 15. Asfaltová směs VIAPHONE [12]

VIAPHONE je asfaltová směs (obr. 15), která má zrnitost 0/6 a 0/8 a užívá se pro podstatné snížení hluku od pneumatik. Pokládá se v tloušťce 20 – 30 mm, pokud se klade na nerovný podklad, je třeba provést vyrovnaní. Spojovací postřik pro vysoké dopravní zatížení s modifikovaným asfaltem zajišťuje vodonepropustnost podkladu a značnou odolnost krytu proti tangenciálním silám. Užívá se speciální rychle a kontrolovaně se štěpící emulze, což umožňuje udržet čisté staveniště. [12]

VIAPHONE je asfaltová směs s přetržitou křivkou zrnitosti v oblasti 2-4 mm a vysokým obsahem hrubého kameniva frakce 4/8. Obecně je jako pojivo užit silniční asfalt s přídavkem organických vláken, ale v závislosti na nárůstu dopravního zatížení je doporučen modifikovaný asfalt. Vysoký obsah pojiva zlepšuje zpracovatelnost a pokládku směsi. [12]

Křivka zrnitosti a přítomnost vláken mají za následek snížení valivého hluku a zlepšení protismykových vlastností. Organická vlákna napuštěná asfaltem působí jako tlumič hluku. Měření valivého hluku bylo provedeno na různých úsecích dálnice D1 a bylo dosaženo předpokládaného snížení hluku (tab. 1). [12]

Tabulka 1. Snížení hluku

Valivý hluk - norma S30 - 119		
VIAPHONE	<72 db(A)	
0/10 střednězrná směs	=76 db(A)	Protihlukové vlastnosti VIAPHONE mají trvalý charakter

Pozn: Snížení hluku o 3 db(A) odpovídá 50% snížení intenzity dopravy (rov 2).

Vysoká bezpečnost je zajištěna dobrou makrotexturou a vysokým koeficientem podélného tření ve všech rychlostech.

- Průměrná hloubka makrotextury
>0,9 mm
- Koeficient podélného tření-
60km/h = 0,5
90km/h = 0,4

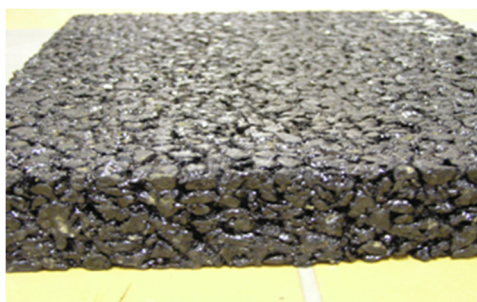


Obrázek 16. Makrotextura VIAPHONE [12]

VIAPHONE je asfaltová směs s velmi nízkou hlučností. Oproti drenážnímu koberci je méně náchylná k zanesení. Užívá se na stavbu městských a příměstských komunikací. Osvědčení francouzské státní správy Avis Technique zajišťuje, že tato obrusná vrstva má za následek trvalé snížení valivého hluku, dobré drenážní a protismykové vlastnosti (obr. 16). Malá výška této vrstvy eliminuje potřebu výškových úprav prvků inženýrských sítí. [10], [12]

3.2.3.4 Asfaltové směsi modifikované pryžovým granulátem

Vznik této technologie se datuje do 60 let minulého století. Tato technologie je ve Švédsku známá pod názvem RUBIT, v ČR užíváme název GUMOASFALT. Tato inovace přišla jako odpověď na otázku vzrůstajícího počtu vozidel a potřeby recyklace pneumatik. Dle TP 148 se jedná o přidávání asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem (obr. 17) [13]



Obrázek 17. Gumoasfaltová směs [16]

Výroba směsi:

- Suchý proces – drcená guma frakce 0/4 se přidává do míchačky v obalovně společně s kamenivem.
- Mokrý proces – přidání 7 – 15 % pryže ve formě prášku z celkové hmotnosti pojiva. Výroba gumoasfaltového pojiva se provádí ve speciálních zařízeních (v rafinerii nebo blendr). Po reakci gumového podílu a asfaltu se toto pojivo převáží na obalovnu.
- TecRoad – kombinace suchého a mokrého procesu. Granulovaný koncentrát se dodává v pytlích, několik hodin se míchá se silničním asfaltem, následně se přečerpá na konci linky a je upraven do sypké hmoty. Metoda dosahuje výhody jak mokrého, tak suchého procesu.

Výroba pryžového granulátu:



Obrázek 18. Skládka použitých pneumatik (vlevo) a drcený pryžový granulát (vpravo) [14]

Granulát se vyrábí vícenásobným mechanickým drcením za normální teploty (obr. 18). Pneumatika je nejprve zbavena ocelových lan magnetickými separátory a poté prochází hrubým drtičem, který je opatřen soustavou nožů. Následně jsou magnetem odděleny kovové částice a konec linky je opatřen třidičem, který granulát rozděljuje na vybrané frakce. K úpravě vlastností zrn granulátu lze konec výrobní linky opatřit kalandrem. To je zařízení, které obsahuje dva hladké válce, které povrchově upravují zrna granulátu (kalandrace).

Tuto granulovanou pryž lze také vyrábět metodou kryogenního drcení. Podstatou této metody je zmrazení částečně rozdrcených pneumatik na extrémně nízkou teplotu. Tento zmrazený materiál se velmi lehko rozpadá na drobné částice. Ocel a vlákna se z drti odstraní stejným způsobem jako při mechanickém drcení. Výhodou tohoto způsobu výroby je rychlejší získávání granulátu a čistější získávání velmi jemné frakce. Jedinou nevýhodou jsou podstatně větší náklady z důvodu aplikace tekutého dusíku. [13]

Typy gumoasfaltových směsí:

- Gumoasfaltový beton s přerušenou zrnitostí
 - tloušťky 30 – 50 mm, mezerovitost 3 - 6 %
- Gumoasfaltový koberec tenký
 - tloušťky 20 – 30 mm, mezerovitost
- Gumoasfaltový koberec drenážní
 - tloušťky 20 – 30 mm, mezerovitost 14 – 22 %
- Gumoasfaltový koberec mastixový
 - Mezerovitost 2 – 5 %

Gumoasfaltové vrstvy podstatně snižují tloušťku vozovky oproti vrstvám z asfaltového betonu. Příčinou je větší odolnost proti vzniku únavových, mrazových a reflexních trhlin. Vykazují také značnou odolnost proti tvorbě trvalých deformací. Jsou zajištěny lepší protismykové vlastnosti, jelikož granulát zvyšuje hysterzní tření mezi pneumatikou a vozovkou. Hlavním přínosem je snížení hluku o 4 – 6 db(A) a prodloužení životnosti.

Nevýhoda této směsi je vyšší pracnost a energetická a organizační náročnost. Vyšší náklady jsou vykompenzovány delší životností a nižší tloušťkou vrstvy. Gumová drť je dnes cenná surovina. Jedná se o komoditu, která má dnes i v budoucnosti široké uplatnění. [13], [5]

3.2.3.5 Asfaltový koberec nízkohlučný LOA 5D

Do kategorie mastixových asfaltových koberců patří také německá směs LOA 5D, která je nazývána „düsseldorfská směs“. Tato směs (obr. 19) je nový typ asfaltové směsi pro protihlukové koberce, která se snaží v maximální míře kombinovat všechny poznatky vedoucí ke snížení hluku. Menší velikost zrna dokáže vytvořit optimální povrch pro snížení hlukových emisí tzn.: konkávního typ s pravidelnou distribucí prohlubní a sedel.

Asfaltová směs LOA 5D dosahuje mezerovitosti 5 – 10 %, což se blíží mezerovitosti 3 - 4,5 % klasického mastixového koberce. Směs vykazuje zlepšené protismykové vlastnosti. Snížení hladiny hluku je zajištěno optimalizací kostry kameniva, využívající maximální zrno o velikosti 5 mm. Tato technologie je uzpůsobena výhradně pro modifikované asfaltové pojivo. Dle prvotních zkušeností je směs nejefektivnější při rychlostech 50 – 60 km/h a je vhodná pro použití na městských komunikacích.

Vývoj koncepce dané vrstvy je spojen s osobou profesora Martina Radenberga z Ruhrské univerzity v Bochumi. Směs se poprvé aplikovala v roce 2007 na dvou úsecích v Dusseldorfu v tloušťce 20 mm. Na úsecích byla naměřena metodou CPX hodnota snížení hladiny hluku až 3-5db(A) od osobních vozidel jedoucích rychlostí 50km/h. Po dvou letech bylo měření opakováno a nebyla zjištěna ztráta schopnosti snížení hluku. [2], [1]



Obrázek 19. Směs LOA 5D [17]

3.3 Obalovaný makadam

Jedná se asfaltovou směs typu makadam či skelet. Směs je charakterizována přerušenou čarou zrnitosti a velkou mezerovitostí kostry kameniva. Nosná kostra je tvořena kamenivem nejhrubší frakce a zbývající kamenivo má pouze výplňovou funkci. Jako filer je užitá kamenná moučka nebo cement. Filer musí být suchý, bez shluků a nesmí obsahovat organické látky. Hlavní frakce kameniva jsou 16/32 s vyplněním frakcí 4/8 mm a 22/45 s vyplněním frakcí 8/16 mm. Jsou zde využity modifikovaná i silniční pojiva v malém množství 2 – 3 %. [18]

Maximální tloušťka vrstvy je 10 cm při uložení na nestmelené vrstvy. Pokud je jiný podklad, je tloušťka vypočtena z největšího zrna kameniva. K hutnění jsou užity kovové statické válce o minimální hmotnosti 10 tun. Pokládka vrstvy je zajištěna finišery nebo grejdry.

U této směsi jsou prováděny tyto zkoušky hotových úprav: [18]

- rovnost povrchu – 4 m lať, nerovnosti musí mít menší než 4 mm
- příčný sklon – úchylka nesmí být větší než $\pm 0,5$ %
- tloušťka úpravy – pomocí sond, s přesností ± 10 %
- doklady o zkouškách kvality a množství užitého materiálu

4. PRAKTICKÁ ČÁST

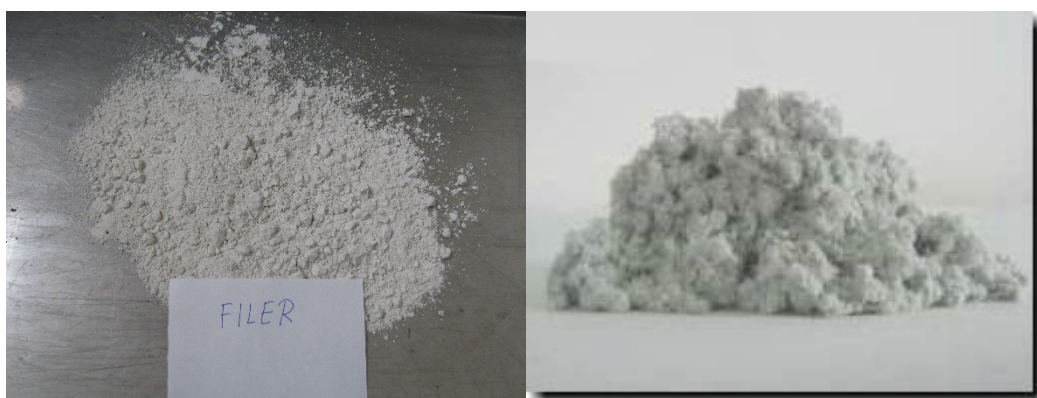
4.1 Nízkohlučný koberec mastixový SMA 8 LA

4.1.1 Materiály

A) KAMENIVO

Kamenivo pochází z kamenolomu Jakubčovice, který patří společnosti Eurovia. Je zde vyráběno 26 různých frakcí. Rozsáhlé ložisko je tvořeno sedimentární horninou nazývanou Moravská droba. Hornina se tu vyskytuje ve dvojím zbarvení, šedomodrá a hnědošedá. Jedná se stejnoměrně středně zrnitou horninou s lehce pozorovatelnými zrny živce a křemene. Odlučivost horniny probíhá po rovných ostrých hranách. [19]

Pro tuto práci byly užity frakce 4/8, 0/2 (obr. 20, 21) a kamenná moučka (filer).

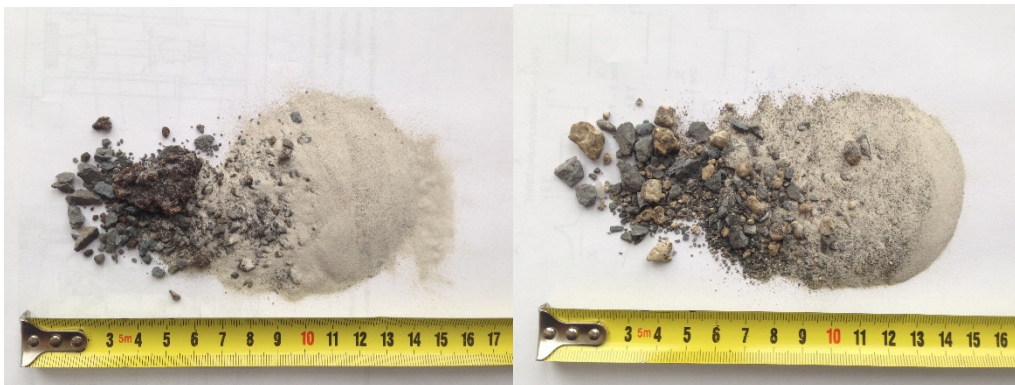


Obrázek 20. Kamenná moučka (vlevo) a celulózová vlákna (vpravo) [7]



Obrázek 21. Frakce 4/8 (vlevo) a frakce 0/2 (vpravo) [7]

Jednotlivé frakce kameniva musely být odebrány nadvakrát, jelikož při prvním odebrání došlo ke vzájemné kontaminaci.



Obrázek 22. Ukázka kontaminovaných vzorků [7]

B) CELULÓZOVÁ VLÁKNA S-CEL 7 [20]

Jsou to volná celulózová vlákna určena pro silniční stavitelství a jiné použití ve stavebnictví od roku 1998. Hlavní využití těchto vláken je jako stabilizační přísada do asfaltových koberců mastixových (obr. 20).

Výroba vláken probíhá dle : ČSN EN ISO 9001
ČSN EN ISO 14001
ČSN OHSAS 18001

Výhody:

- Vlákna Slouží jako nosič pojiva umožňující zvýšení obsahu asfaltu v obalovaných směsích.
- Je snížena stékavost asfaltu z kameniva a zvýšena zpracovatelnost směsi při pokládce.
- Zlepšení tepelné odolnosti směsi.
- Zlepšení fyzikálně – mechanických a nízkoteplotních vlastností asfaltových směsí.
- Snížená teplota pokládky.

Tato technologie má za následek zvýšení životnosti asfaltové vrstvy. Směs je odolná proti průniku vody. Je vylepšena tvarová stálost při vysokém dopravním zatížení a zvýšena odolnost proti tvorbě trvalých deformací. Komunikace má také zvýšenou odolnost proti

obrusu. Jedna z největších předností je snížení hlučnosti silniční komunikace. Tato úprava byla užita v ČR na stavbu dálnic D1, D2 a mnoho dalších. V Evropě je užita např. na okruh Formule 1 v Silverstonu ve Velké Británii.

C) POJIVA

Byly užity tyto druhy polymerem modifikovaných asfaltových pojiv:

Mofalt 45/80-65 – Pojivo obstarala firma Paramo, která sídlí v Pardubicích. Laboratoř firmy Paramo poskytla protokol o zkouškách pojiva. [32]

OMV 45/80 RC - pojivo obstarala firma OMV. Jedná se o pojivo, které se přidává do směsi s R-materiálem. Toto pojivo bylo srovnáváno s modifikovaným asfaltem OMV 45/80 a se znovuzískaným pojivem z recyklovaného materiálu. Pro srovnání byly využity zkoušky: Penetrace jehlou, Bod měknutí, Vratná duktilita a další. Výsledky zkoušek jsou obsaženy v následující literatuře. [33]

Optimální množství pojiva je stanoveno na základě zkušeností z Německa.

Pro přepočet optimálního množství pojiva p [kg pojiva/100 kg kameniva] na

p' [v % hmotnosti] je užít vzorec:

$$p' = \left(\frac{p}{100} + p \right) \times 100$$

Rovnice 3. Přepočet množství pojiva

4.2 Obalovaný makadam

4.2.1 Materiály

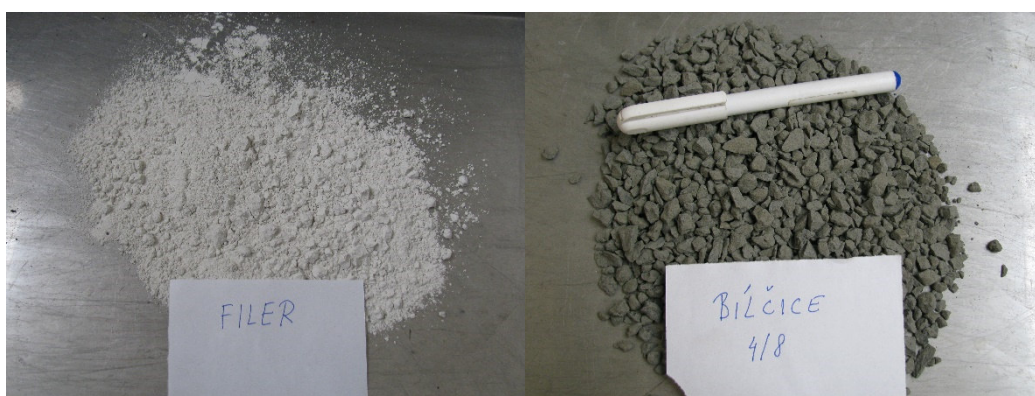
A) KAMENIVO

Pro návrh této směsi bylo užito kamenivo rozdílných frakcí z různých lomů v České Republice. Byla zde užita vápenná moučka odebrána z vápenky Vitošov. Jedná se o velmi jemně mletý vápenec. Frakce kameniva 4/8 z kamenolomu Bílčice, kde se vyskytuje čedičová hornina (obr. 23).

Další frakce jsou 11/22 a 16/32 z kamenolomu Valšov, kde se vyskytuje moravská droba (obr. 24)



Obrázek 23. Frakce 11/22 (vlevo) a frakce 16/32 (vpravo) [7]



Obrázek 24. Filer (vlevo) a frakce 4/8 (vpravo) [7]

B) POJIVO

Byly užity dva typy pojiva:

Mofalt 45/80-65 – Užití pojivo bylo stejné, jako u směsi SMA LA 8, viz. odstavec 4.2.1 B.

Silniční asfalt 50/70 – Jedno z nejběžnějších pojiv v ČR.

5. Laboratorní zkoušky – Směs SMA LA 8

5.1 Kameniva

5.1.1 Stanovení zrnitosti – síťový rozbor [21]

Norma ČSN EN 933-1

Podstata zkoušky:

Zkouška je složena z roztřídění a oddělení materiálu pomocí sady sít do několika frakcí. Síta jsou uspořádány sestupně dle velikosti otvorů. Počet sít a velikost otvorů jsou vybírány dle druhu vzorků a požadované přesnosti. Užitá metoda je praní a prosévání kameniva za sucha. Hmotnost částic, které nepropadly daným sítím se porovnává s původní hmotností materiálu. Součet všech propadů sítí se zaznamenává a lze je vyjádřit graficky.

Zkušební zařízení:

- zkušební síta s normovanými otvory včetně víka a dna
- sušárna s nucenou cirkulací vzduchu a prací zařízení
- váhy s přesností $\pm 0,1$ % hmotnosti zkušební navážky
- prosévací přístroj (Střasač)

Příprava zkušebních navážek: Vzorky musí být redukovány dle EN 932-2. Pokud objemová hmotnost kameniva je mezi $2,00 \text{ Mg/m}^3$ a $3,00 \text{ Mg/m}^3$, musí být hmotnost zkušební navážky v souladu s tabulkou 1.

Tabulka 1. Hmotnost navážek pro hutné kamenivo

Velikost zrna kameniva D (největší) mm	Hmotnost zkušební navážky (nejmenší) kg
63	40
32	10
16	2,6
8	0,6
≤ 4	0,2

Pracovní postup zkoušky:

- 1) Praní - Navážka je vložena do nádoby a přidá se tolik vody, aby bylo kamenivo zcela pod vodou. Vzorek je nutno dostatečně promíchat kvůli oddělení jemných částic. Síto 63 μm je navlhčeno z obou stran a umístěno tak, aby přes něj mohla směs odtékat do odpadu. Je nutné na toto síto umístit jedno síto jako ochranu proti mechanickému poškození. Směs se pere do té doby, dokud tímto sítem neprotéká čirá tekutina. Propraná a vysušená směs je umístěna na horní síto ve střešacím přístroji.
- 2) Prosévání – Vysušený vzorek je nasypán do sestavy sít. Ve sloupci jsou síta uspořádány sestupně dle velikosti otvorů. Horní síto je opatřeno utěšňovacím víkem a pod spodním sítem se nachází dno. Sloupec sít se mechanicky otřásá (obr. 25) a následně jsou odebrány jednotlivá síta. Na každém síti je provedeno ruční dokončení prosévání, přičemž se musí zabránit ztrátám materiálu. Aby bylo zabráněno přetížení sít, musí množství materiálu na síti po dokončení prosévání, být menší než (rov. 4):

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

A plocha síta v mm^2

d velikost otvoru síta v mm

Rovnice 4. Vzorec proti přetížení sít

Pokud dojde, k překročení této hodnoty, jsou k dispozici dvě řešení:

- a) Zůstatek je rozdělen na díly menší než minimum a odděleně se prosévá.
- b) Část vzorku, která propadne nejbližší za vyšším sítem se zmenší kvartací nebo děličem vzorků. V prosévání se pokračuje, avšak je nutné vzít do výpočtu příslušné zmenšení.



Obrázek 25. Strásací přístroje [7]

- 3) Vážení – je zvážen zůstatek na vrchním síti a jeho hmotnost je zaznamenána jako R_1 . Stejná operace je provedena na dalších sítích a jsou zaznamenány hmotnosti $R_2, R_3 \dots$. Propadlé jemnozrnné částice na dně jsou zváženy a jejich hmotnost zaznamenána jako P .

Výsledky:

Všechny naměřené hmotnosti jsou zaznamenány v protokolu v příloze 1. Je proveden výpočet hmotnostních zůstatků na každém síti jako procentuální podíl vysušené původní navážky. Vypočte se součet všech procentuálních hmotností, kromě síti 63 μm . Stanoví se procento jemných částic dle následujícího vzorce (Rov. 5)

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$$

- M_1 hmotnost vysušené navážky v kg
 M_2 hmotnost zůstatku na síti 63 μm v kg
 P hmotnost propadu jemných částic v kg

Rovnice 5. Procentuální výpočet jemných částic

Závěr:

Sítový rozbor byl proveden na příslušných frakcích:

Kamenná moučka (filer), frakce 0/2 a frakce 4/8 (příloha č. 1).

Dle získaných údajů byla vhodně navrhnutá křivka zrnitosti (příloha č. 2).

5.1.2 Stanovení tvaru zrn – Tvarový index [22]

Norma ČSN EN 933-4

Podstata zkoušky:

Jednotlivá zrna vzorku hrubého kameniva jsou roztržena na základě jejich poměru délky L k tloušťce E . Třídění probíhá pomocí dvoučelistového posuvného měřidla. Tvarový index je následně vypočten jako hmotnostní podíl zrn, jejichž poměr rozměrů L/E dosahuje vyšších hodnot než 3 a celkové hmotnosti zkušební navážky.

Zkušební zařízení:

Dvoučelistové posuvné měřidlo (obr. 26)

Zkušební síta se jmenovitými otvory opatřeny víkem a dnem

Sušárna opatřena nucenou cirkulací vzduchu

Váhy s přesností 0,1 % hmotnosti navážky a misky



Obrázek 26. Dvoučelistové měřidlo [7]

Pracovní postup zkoušky:

Zkušební vzorek se redukuje dle požadavků normy ČSN EN 933-2. Navážka je vysušena při teplotě 110 ± 5 °C do ustálené hodnoty. Následuje prosetí na příslušných sítích a oddělení zrn, které propadnou sítím 4 mm.

Zaznamenat celkovou hmotnost zrn a provést příslušné měření pomocí dvoučelistového posuvného měřidla. Následuje výpočet tvarového indexu dle příslušného vzorce (rov. 6)

$$SI = \frac{M_1}{M_2} \times 100$$

M_1 = hmotnost zkušební navážky v gramech

M_2 = hmotnost nekubických zrn v gramech

Rovnice 6. Výpočet tvarového indexu

Výsledky: Zkušební navážka frakce 4/8

Celková hmotnost navážky = 61,8 g

hmotnost nekubických zrn = 8,5 g

Tvarový index = 13,7 %

Závěr: Tvarový Index splňuje požadavky normy ČSN EN 13043:2004, které stanoví max. hodnoty tvarového indexu pro užití kameniva do ohrusných vrstev.

5.2 Pojiva

5.2.1 Stanovení penetrace jehlou [23]

Dle normy ČSN EN 1426

Podstata metody:

Pronikání penetrační jehly do vytemperovaného vzorku pojiva za teploty 25 °C. Zatížení jehly je 100 gramů po 5 sekund. Hodnoty penetrace jsou udávány v desetinách milimetru.

Pracovní postup zkoušky:

Penetrační jehla je očištěna toluenem a vložena do penetračního přístroje

(obr. 27). Nádoba se vzorkem je umístěna do penetrační lázně. Jehla musí být nastavena do nulové pozice. Následují nejméně tři platná měření a při každém je nutno očistit jehlu. Měření musí být min. 10 mm od stěny nádoby.



Obrázek 27. Penetrační přístroj [7]

Výsledky:

Tabulka 2. Výsledné hodnoty zkoušky pojiva OMV RC 45/80

stanovení penetrace jehlou			
Silniční asfalt OMV RC 45/80			
číslo vpichu	hloubka vpichu (mm)	průměr (mm)	penetrace x0,1 (mm)
1	6,5	6,5	65
2	6,6		
3	6,4		

Tabulka 3. Výsledné hodnoty zkoušky pojiva Mofalt 45/80-65

stanovení penetrace jehlou			
Silniční asfalt Mofalt 45/80-65			
číslo vpichu	hloubka vpichu (mm)	průměr (mm)	penetrace x0,1 (mm)
1	4,6	4,6	46
2	4,6		
3	4,6		

Závěr:

Hodnoty penetrace splňují požadavky normy ČSN EN 1426.

5.2.2 Stanovení bodu měknutí – Kroužek a kulička [24]

Dle normy ČSN EN 1427

Podstata metody:

Princip spočívá v zahřívání asfaltových kotoučků v lázni za řízených podmínek. Kotoučky jsou odlité v mosazných kroužcích a opatřeny osazením pro vystředění ocelové kuličky. Kulička je umístěna na kotoučky a následně je pozorován její propad se vzrůstající teplotou lázně. Bod měknutí je průměrná teplota, kdy se kuličky propadnou o hodnotu $25 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$. Vodní lázeň je určena pro referenční zkoušky do $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$, pro vyšší teploty se užívá glycerol.

Pracovní postup zkoušky:

Nejprve jsou nalita asfaltová pojiva do mosazných kroužků. Po zchladnutí je přebytečné pojivo odstraněno. Oříznuté prstýnky jsou vloženy do nástavce, opatřeny osazením a kuličkou. Nástavec je vložen do kádinky s lázní, kde probíhá temperace na požadovanou teplotu. Po vytemperování je nástavec vložen do přístroje s rovnoměrným ohřevem $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (obr. 28). Bod měknutí je průměrná teplota, kdy kulička propadne o 25 mm.



Obrázek 28. Přístroj pro stanovení bodu měknutí [7]

Výsledky:

Tabulka 4. Hodnoty KK Mofalt

stanovení bodu měknutí-kroužek a kulička			
silniční asfalt Mofalt 45/80-65			
	poloha kuličky	naměřená teplota (°C)	průměrná teplota (°C)
1. měření	Levá	65,4°C	65,5°C
	Pravá	65,5°C	
2. měření	Levá	65,2°C	65,3°C
	Pravá	65,4°C	

Tabulka 5. Hodnoty KK OMV RC

stanovení bodu měknutí-kroužek a kulička			
silniční asfalt OMV RC 45/80			
	poloha kuličky	naměřená teplota (°C)	průměrná teplota (°C)
1. měření	Levá	79,8°C	79,8°C
	Pravá	79,8°C	
2. měření	Levá	79,6°C	79,6°C
	Pravá	79,5°C	

Závěr:

Hodnoty dosažené pomocí zkoušky Stanovení bodu měknutí splňují požadavky normy ČSN EN 1427.

5.3 Asfaltové směsi

5.3.1 Experimentální návrh asfaltové směsi

Určujícím faktorem pro správnost návrhu asfaltové směsi je její mezerovitost. V rámci této práce bylo provedeno několik návrhů asfaltové směsi:

1. NÁVRH SMĚSÍ

Tabulka 6. Dávkování kameniva

Studené dávkování :		
		Celkem g
	%	1084 g
Moučka Mokrá	6	65
0-4 Jakubčovice	9	98
4-8 Jakubčovice	85	921
8-11 Jakubčovice	0	0
Suma	100	1084

Pojivo Mofalt 45/80-65.

Dávkování pojiva je 73 gramů = 6,3 %

Celulózová vlákna 3,5 gramů

Z takto navržené směsi byla zhotovena Marshallova zkušební tělesa. Pomocí objemové hmotnosti získané z Marshallových těles a maximální objemové hmotnosti získané pomocí pyknometru byla stanovena mezerovitost směsi.

5.3.1.1 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa [25]

Dle normy ČSN EN 12697 – 6

Výroba zkušebních těles:

Vysušení předem daného kameniva při teplotě 110 ± 5 °C. Nahřátí kameniva a pojiva na požadovanou teplotu. Umístění nahřáté směsi do míchačky a řádné promíchání. Následuje kvartace směsi a nahřátí směsi na teplotu hutnění. Po dosažení požadované teploty je směs umístěna do hutnící formy (obr. 29). Forma je vložena do Marshallova pěchu (obr. 29) a zhutněna 2 x 50 údery. Směs se ponechá vychladnout a následuje její vytlačení pomocí hydraulického lisu.



Obrázek 29. Marshallův přech (vlevo) a jednotlivé části zhutňovací formy (vpravo) [7]

Stanovení objemové hmotnosti: 2 metody

- Metoda D – Stanovení objemové hmotnosti pomocí rozměrů
 - Stanoví se jednotlivé rozměry tělesa a jeho hmotnost.

Vypočet dle vzorce:

$$\rho_{b,dim} = \frac{M_1}{\frac{\pi}{4} \cdot h \cdot d^2} \cdot 100$$

$\rho_{b,dim}$ = objemová hmotnost tělesa

M_1 = hmotnost suchého tělesa

h = výška zkušebního tělesa

d = průměr tělesa

Rovnice 7. Výpočet objemové hmotnosti metoda D

Tato metoda vykazuje největší nepřesnosti z důvodu velké mezerovitosti.

- Metoda B s poklepem – Stanovení objemové hmotnosti vážením ve vodě a na suchu s poklepem
 - Stanovení hmotnosti suchého tělesa m_L .
 - Určení hustoty vody pro danou teplotu.

- Těleso vnoříme do lázně na dobu 30 minut. Těleso silně poklepat o perforovanou podložku z důvodu odstranění co největšího množství vzduchových mezer.
- Stanovení hmotnosti nasyceného ponořeného tělesa m_2 .
- Vyjmutí zkušebního tělesa, důkladné vyklepání vody a povrchové osušení vlhkou jelenicí.
- Hmotnost nasyceného tělesa m_3

Výpočet dle vzorce:

$$\rho_{b,ssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \cdot \rho_w$$

Rovnice 8. Výpočet objemové hmotnosti metoda B

Tato metoda vykazuje přesnější výsledky. Je zde však problém, že u směsí více otevřených byla naměřena vyšší mezerovitost. Příčinou je větší pronikání vody do více otevřeného tělesa, což má za následek snížení vztlaku a tudíž zvýšení hmotnosti m_2 . [28]

Výsledky:

Tabulka 7. Stanovení objemové hmotnosti metoda D a B

Stanovení objemové hmotnosti - rozměry (metoda D)				
číslo vzorku	prům. výška	hmotnost	průměr	objemová hmotnost
1	63,7	1045,7	101,7	2022,128
2	63,5	1048,9	102,1	2017,603
3	63,6	1045,1	101,8	2019,299
průměr	63,6	1046,6	101,9	2019,7
4	67,4	1055,0	102,0	1917,377

Stanovení objemové hmotnosti - ve vodě (B s poklepáním a vytřepáním vody)				
	m1	m2	m3	objemová hmotnost
1	1045,7	556,4	1046,5	2129,4
2	1048,9	585,8	1057,6	2218,7
3	1045,1	589,2	1056,4	2232,5
průměr	1046,6	577,1	1053,5	2193,5
4	1055,0	595,7	1075,9	2192,6

5.3.1.2 Stanovení maximální objemové hmotnosti [26]

Dle normy ČSN EN 12597 – 5+A1

Podstata zkoušky:

Využitím volumetrického postupu se objemová hmotnost vypočítá pomocí objemu vzorku bez mezer a suché hmotnosti. Objem vzorku je měřen jako objem vody vytěsněné vzorkem v pyknometru.

Pracovní postup zkoušky:

Je zapsána hmotnost prázdného pyknometru m_1 . Následně je vzorek umístěn do pyknometru, nasazen nástavec a zvážen m_2 . Pyknometr musí být naplněn destilovanou vodou do výšky 30 mm pod horní okraj. Po 15 minutách je doplněna voda, až po značku na nástavci. Poslední krok je vyjmutí pyknometru z vodní lázně, povrchové osušení a okamžité zvážení m_3 .

Volumetrický výpočet:

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \times \left(V_p - \frac{m_3 - m_2}{\rho_w} \right)}$$

Rovnice 9. Výpočet maximální objemové hmotnosti

Výsledky:

Tabulka 8. Maximální objemová hmotnost - voda

Pyknometr s vodou					
m pyknom	m suchá	m s vodou	Vp	hust.vody	m2-m1
m1	m2	m3			
0,693	1,6195	2,5647	1308,184	997,1	0,9265
			0,001308		
maximální objemová hmotnost				2571,933 kg/m³	

Tabulka 9. Maximální objemová hmotnost - trichlor

Pyknometr s trichlorem					
m pyknom	m suchá	m s trichlorem	Vp	hust.trichloru	m2-m1
m1	m2	m3			
0,6907	1,6558	3,0144	1322,7	1454	0,9651
			0,0013		
maximální objemová hmotnost				2485,142 kg/m³	

5.3.1.3 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí [27]

Dle normy ČSN EN 12697-8

Podstata zkoušky:

Mezerovitost je stanovena jako poměr objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa ρ_{bssd} a maximální objemové hmotnosti ρ_{mv} .

Výpočet:
$$mezerovitost = \left(1 - \frac{\rho_{bssd}}{\rho_{mv}}\right) \times 100 \text{ [%]}$$

Rovnice 10. Výpočet mezerovitosti

Výsledky:

Tabulka 10. Určení mezerovitosti metoda D

vzorek	V _m trichlor	V _m voda
1	21,4	18,6
2	21,6	18,8
3	21,5	18,7
průměr	21,5	18,7
4	25,4	22,8

Tabulka 11. Určení mezerovitosti metoda B s poklepem

Vzorek	V _m trichlor	V _m voda
1	17,2	14,3
2	13,7	10,7
3	13,2	10,2
Průměr	14,7	11,7
4	14,7	11,8

Rozhodující výsledky jsou získané pomocí metody B. Mezerovitost dané směsi je v rozmezí 11,8 - 14,7 %. Tyto hodnoty jsou větší než předem stanovené normové meze (10 -12 %), což má za následek úpravu návrhu směsi.

2. NÁVRH SMĚSI

Tabulka 12. Dávkování kameniva

Studené dávkování :		
		Celkem g
	%	993
Moučka Mokrá	6	60
0-4 Jakubčovice	6	60
4-8 Jakubčovice	88	874
8-11 Jakubčovice	0	0
Suma	100	993

Pojivo PMB OPA 40/100-65.

Dávkování pojiva je 69 gramů = 6,5 %

Celulózová vlákna 3,2 gramů

Z tohoto návrhu směsi byly vytvořeny zkušební tělesa a následně podrobeny stejným zkouškám jako u 1. návrhu.

5.3.1.4 Stanovení maximální objemové hmotnosti [26]

Zkušební postup - viz. odstavec 5.3.1.2

Výsledky:

Tabulka 13. Maximální objemová hmotnost - voda

Pyknometr s vodou					
m pyknom	m suchá	m s vodou	Vp	hust.vody	m2-m1
m1	m2	m3			
0,6932	1,4754	2,4789	1308,184	997,1	0,7822
			0,001308		
maximální objemová hmotnost				2592,08kg/m³	

Tabulka 14. maximální objemová hmotnost - trichlór

Pyknometr s trichlorem					
m pyknom	m suchá	m s trichlorem	Vp	hust.trichloru	m2-m1
m1	m2	m3			
0,7032	1,5077	2,9535	1314,913	1454	0,8045
			0,001315		
maximální objemová hmotnost				2509,728 kg/m3	

5.3.1.5 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa [25]

Výroba zkušebních těles - viz. odstavec 5.3.1.1

Pro přesnější výpočet výsledků byla Marshallova tělesa zhotovena, jak na starém tak na novém rázovém zhutňovači (obr. 29). Jelikož zkušební tělesa mají předepsanou výšku, musela být zkušební navážka upravena.

Výsledky :

Tabulka 15. Stanovení objemové hmotnosti – metoda D

	Stanovení objemové hmotnosti - rozměry (metoda D)				
	vzorek	výška (mm)	hmotnost (kg)	průměr (mm)	objemová hmotnost (kg/m ³)
starý pěk	1	64,6	1042,2	102,1	1986,4
	2	65,0	1047,0	101,7	1964,5
	3	65,7	1046,2	101,8	1950,5
nový pěk	4	68,6	1048,3	102,0	1871,2
	5	69,4	1043,1	101,6	1854,6
	6	69,0	1044,5	102,2	1847,7
nový pěk + úprava	7	62,5	949,7	102,0	1859,6
	8	62,1	951,3	101,7	1885,8

Tabulka 16. Stanovení objemové hmotnosti – metoda B s poklepem

Stanovení objemové hmotnosti -rozměry (metoda D)				
vzorek	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	objemová hmotnost (kg/m ³)
1	1042,2	596,3	1056,9	2257,7
2	1047	599,2	1063,2	2251,5
3	1046,2	600,1	1063,7	2251,7
4	1048,3	601,8	1066,1	2252,8
5	1043,1	599,1	1062,4	2246,5
6	1044,5	599,9	1063,5	2248,1
7	949,7	545	965,2	2255,1
8	951,3	545,44	965,2	2255,7
průměrná hodnota				2254,0 m ³

5.3.1.6 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí [27]

Zkušební postup – viz odstavec 5.3.1.3

Ke stanovení mezerovitosti byla využita objemová hmotnost získaná metodou B s poklepem.

Tabulka 17. Určení mezerovitosti metoda B

vzorek	V _a voda (%)	V _a trichlor (%)
1	13,3	10
2	13,6	10,3
3	13,6	10,3
4	13,1	10,2
5	13,3	10,5
6	13,3	10,4
7	13	10,1
8	13	10,1
Φ	13	10,2

Závěr:

Mezerovitost dané asfaltové směsi je 10,2 %, což splňuje normové požadavky pro směs SMA 8 LA (10 – 12 %). Tento návrh je považován za korektní.

5.3.2 Vyhodnocení návrhu směsi typu SMA 8 LA

Tabulka 18. Vyhodnocení návrhů směsi SMA 8 LA

B_{min}	$B_{min}^{1)}$	B_{vol}	$\rho_{bssd}^{2)}$	ρ_{mv}	V	VMA	VFB	ρ_d
[kg/100 kg]	[%]	[v % obj.]	[Mg.m ⁻³]	[Mg.m ⁻³]	[%]	[%]	[%]	[Mg.m ⁻³]
6,72	6,3	13,5	2,193	2,519	12,9	26,2	51	2,795
6,95	6,5	14,4	2,254	2,509	10,2	24,3	58	2,792

Vysvětlivky k použitým zkratkám

B_{min}	[kg/100 kg, %]	obsah rozpustného pojiva
B_{min}^1	[%]	výsledný obsah pojiva
B_{vol}	[% obj.]	obsah rozpustného pojiva, hustota asfaltového pojiva při 20 °C je 1020 kg/m ³
ρ_{bssd}	[kg.m ³]	objemová hmotnost asfaltové směsi
ρ_{mv}	[kg.m ³]	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi
V	[%]	mezerovitost zhutněné asfaltové směsi
VMA	[%]	mezerovitost směsi kameniva
VFB	[%]	stupeň vyplnění mezer
ρ_d	[kg.m ³]	objemová hmotnost směsi kameniva

Závěr:

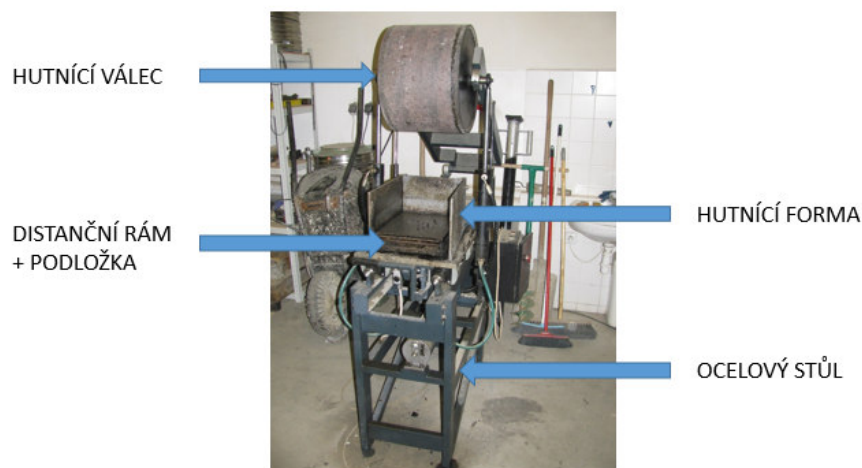
Byly vypracovány dva návrhy směsi typu SMA 8 LA. Z obou návrhů směsi byla zhotovena zkušební tělesa a stanovena objemová hmotnost upravenou metodou D a B. Jelikož je směs značně mezerovitá, tak metoda D dosahuje určitých nepřesností. Z tohoto důvodu byla užita metoda B. Avšak z důvodu plného nasycení vzorku, je tato metoda upravena o poklep o perforovanou podložku. Tím pádem bylo docíleno plné saturace vzorku. Následně při stanovení hmotnosti nasyceného tělesa na vzduchu byl vzorek důkladně zbaven přebytečné vody silným vytřepáním a povrchovým osušením. Výsledky této upravené metody jsou přesnější a vhodné pro tuto směs.

Normové hodnoty mezerovitosti pro směs SMA 8 LA jsou 10 – 12 %, což splňuje druhý návrh směsi (10,2 %).

5.3.3 Funkční zkoušky asfaltových směsí

5.3.3.1 Odolnost proti tvorbě trvalých deformací

A) Zhotovení zkušebních těles zhutňovačem desek (obr. 30) [29]



Obrázek 30. Zhutňovač desek [7]

Dle normy ČSN EN 12697-33

Podstata metody:

Stanovené množství asfaltové směsi je zhutněno pomocí lamelového zhutňovače (obr. 30) v deskové formě, která je zatížena ocelovým válcem. Válec je opatřen písty, které ho přitlačují na lamely, jež přes kovovou podložku hutní směs. Válec po lamelách přejíždí konstantní rychlostí.

Pracovní postup zkoušky:

1. Studené dávkování kameniva:

Tabulka 19. Studené dávkování kameniva

Studené dávkování :		
		Celkem g
	%	6350
Moučka Mokrá	6	381
0-2 Luleč	6	381
4-8 Luleč	88	5588
8-11 Luleč	0	0
Suma	100	6350

Pojivo PMB OPA 40/100-65.

Dávkování pojiva je 441 gramů

Celulózová vlákna 20,4 gramů

2. Nahřátí kameniva a pojiva na teplotu míchání.
3. Směs nahřátá na teplotu míchání je umístěna do připraveného míchacího kotle. Kotel je vložen do míchačky, do které je vložen míchací hák. Míchačka je zastavena, až když je kamenivo plně obaleno asfaltovým pojivem.
4. Navážení přesné navážky dle příslušného vzorce:

$$M = 10^{-6} \cdot L \cdot l \cdot e \cdot \rho_m \cdot \left(\frac{100 - v}{100} \right) = 6424 \text{ kg/m}^3$$

M - hmotnost desky

L - délka formy v mm

l - šířka formy

e - tloušťka desky v mm

v - mezerovitost směsi v desce

ρ_m - maximální objemová hmotnost směsi v kg/m^3

Rovnice 10. Výpočet přesné navážky na desku

5. Sestavení a utažení hutnící formy (obr. 31)



Obrázek 31. Zhutňovací forma [7]

6. Aplikace separačního nátěru na dno, vnitřní strany desky a na krycí plech.

7. Naplnění a rozprostření asfaltové směsi ve formě. Je nutné zabránit segregaci. Na rozprostřenou směs je položen krycí plech (obr. 32) a postupně vloženy jednotlivé lamely.



Obrázek 32. Jednotlivé lamely (vlevo) a krycí plech (vpravo) [7]

8. Po osazení poslední lamely je spuštěn ocelový válec se zatížením F . Lamely jsou zatlačovány silou $F \pm 20 \%$ do té doby dokud forma a horní strana lamel nejsou ve stejné výšce.
9. Je nutné nechat směs vychladnout (30 minut) a poté odstranit formu.

B) Zkouška vyjetí kolem [30]

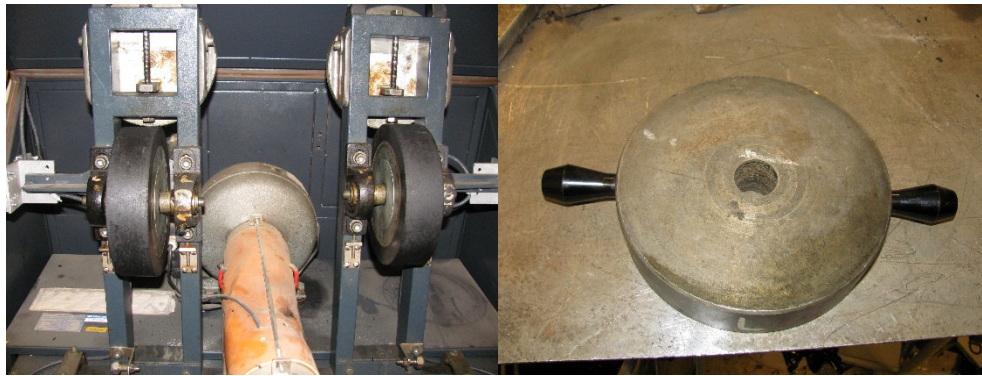
Dle normy ČSN EN 12697 - 22

Podstata metody:

Náchylnost asfaltových směsí k trvalým deformacím je posouzena hloubkou vyjeté koleje, která je způsobena opakovaným pojezdem zatíženého kola při konstantní teplotě.

Měřicí zařízení-součásti:

- pryžové obruče bez dezénu o průměru 200 mm (obr. 33)
- zatěžovací prostředky (kotouče obr. 33), které působí kolmo k rovině desky
- zkušební stůl, který zajišťuje symetrické poježdění
- zařízení pro teplotní regulaci



Obrázek 33. Pryžové obruče (vlevo) a zatěžovací kotouče [7]

Pracovní postup zkoušky:

1. Temperace zkušebního vzorku po dobu min. 4 hodiny.
2. Upevnění zkušebního vzorku do upevňovací formy a osazení teplotních snímačů.
3. Před zkouškou je provedeno 5 zatěžovacích cyklů – záběh.
4. Zařízení je uvedeno do pohybu. Vertikální poloha kola je průměrná hodnota profilu tělesa o délce 50 mm od středu zatěžovací plochy. Pojízďení je zastaveno po dosažení 10 000 cyklů (obr. 34). Pro zkoušku je třeba min. dvou zkušebních těles.



Obrázek 34. Zkušební desky po zkoušce vyjetí kolem (vlevo) a detail hloubky vyjetí kola (vpravo) [7]

Výpočet výsledků:

Přírůstek hloubky vyjeté koleje na vzduchu – WTS_{AIR}

$$WTS_{AIR} = \frac{d_{10000} - d_{5000}}{5}$$

$d_{10\,000}$ = hloubka koleje po 10 000 cyklech

$d_{5\,000}$ = hloubka koleje po 5 000 cyklech

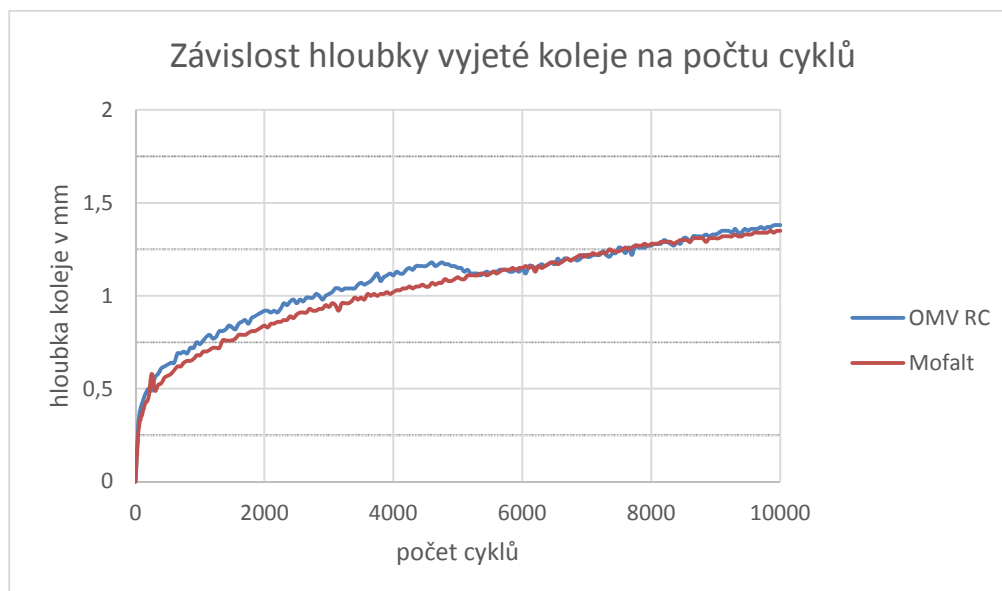
Rovnice 11. Výpočet hodnoty WTS_{AIR}

Průměrná hloubka vyjeté koleje na vzduchu - PRD_{AIR}

Hloubka vyjeté koleje pro danou asfaltovou směs při N zatěžovacích cyklech je průměr vyjeté koleje ze dvou zkušebních desek.

Tabulka 20 Hodnoty PRD a VTS na vzduchu

	Mofalt	OMV RC	SMA 8 S
zhutnění	99,70%	97,60%	100%
PRD_{air}	3,36	3,34	5
WTS_{air}	0,05	0,046	0,07



Graf 1. Závislost hloubky vyjeté koleje na počtu zatěžovacích cyklů, pojiva OMV RC a Mofalt

Závěr:

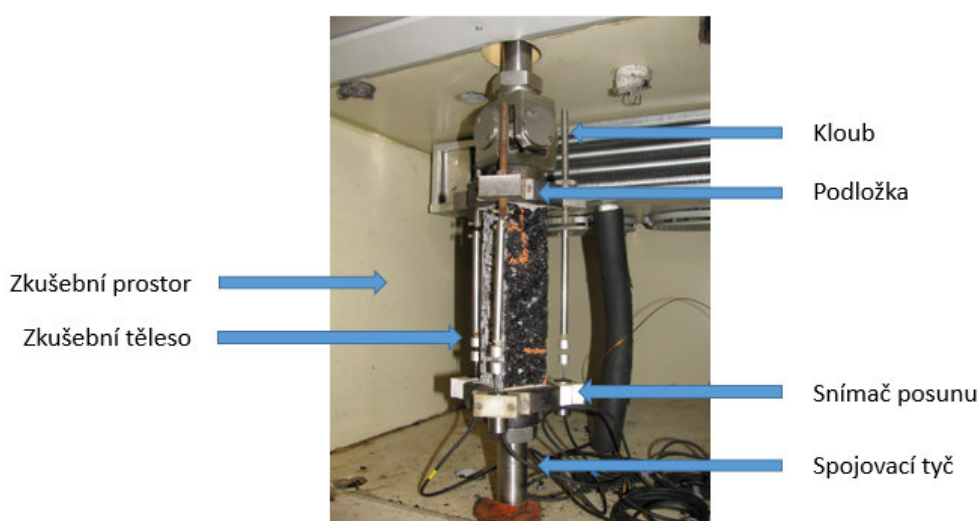
Byly naměřeny hodnoty WTS_{air} a PRD_{air} . Jelikož, česká norma neuvádí limitní hodnoty pro směs SMA LA 8, byly použity limitní hodnoty pro směs SMA 8 S. Námi navržené směsi vyhověly.

5.3.3.2 Stanovení nízkoteplotních charakteristik [31]

Funkční zkouška, která simuluje reálné chování asfaltových směsí při nízkých teplotách (prudký pokles teploty).

Dle normy ČSN EN 12697-46

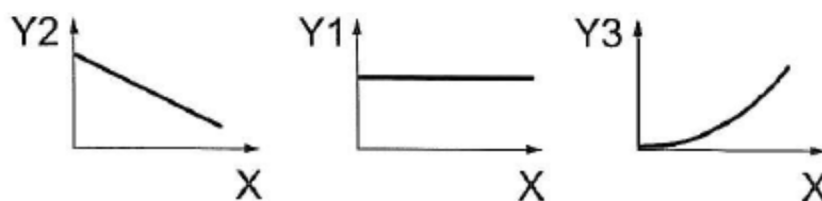
Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 46:
Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem. Metoda
s rovnoměrným poklesem teploty – TSRST



Obrázek 35. Zkušební zařízení CYKLON – 40, detail upevněného vzorku [7]

Podstata zkoušky:

Pro zkoušku nízkoteplotních vlastností s rovnoměrně řízeným poklesem teploty je vzorek upnut do čelistí, které zajistí konstantní délku. Takto upnutý vzorek je vystaven poklesu teploty s konstantní rychlostí. Upnutí zamezuje tepelnému smršťování a ve vzorku vzniká kryogenní napětí. Výsledek je šíření kryogenního napětí ρ_{cry} , do té doby, dokud nedojde k porušení vzorku $\rho_{cry, failure}$, při teplotě $T_{failure}$ (Obr. 36). [32]



Obrázek 36. Podstata zkoušky TSRST

vlevo – závislost času (X) na teplotě ($Y2$)

uprostřed – závislost času (X) na deformaci ($Y1$)

vpravo – závislost času (X) na napětí ($Y3$) [31]

Pomůcky a zkušební zařízení:

- Vhodné zkušební zařízení pro provádění zkoušky nízkoteplotních vlastností s rovnoměrným poklesem teploty – CYKLON 40.
- Systém měření deformace – Deformace je měřena v rozsahu $\pm 2,5$ mm do $0,5$ μ m. Zkušební zařízení je vystaveno stejným teplotním změnám jako zkušební těleso. Aby bylo možné přesné měření skutečného přetvoření, je vyžadována základna tělesa s konstantní délkou (invarová ocel).
- Systém měření zatížení- Monitorování axiálního zatížení v rozsahu 20 kN ± 20 N.
- Záznamové zařízení – Jednotka digitálního rozhraní připojená k počítači, je schopna zaznamenat elektrické signály snímačů zatížení a deformace.
- Termostatická komora – Vhodný prostor s nuceným oběhem vzduchu. Uvnitř prostoru je udržována teplota od -40 $^{\circ}$ C do 30 $^{\circ}$ C s přesností $\pm 0,5$ K. Komora musí splňovat požadavek, aby v jádru zkušební vzorku byla řízena teplota s přesností 10 K/h.

Příprava zkušebních těles:

- 1) Zhotovení zkušebních desek tloušťky 50 mm ve zhutňovači desek a ověření míry zhutnění pomocí objemové hmotnosti zjištěné metodou B (tab. 21).

Tabulka 21. Objemová hmotnost desek tl. 50 mm.

vzorek	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	objemová hmotnost (kg/m ³)	zhutnění (%)
MOFALT	8061,0	4640,0	8232,0	2239,6	99,3
RC	8062,0	4572,0	8245,0	2178,7	97,2

- 2) Nařezání desky na hranoly o rozměrech 50 x 50 x 200 mm (Obr. 37). Délka hranolu je čtyřnásobkem jeho šířky. Zkušební tělesa jsou odebrána uprostřed desky min. 20 mm od okraje. Z jedné desky vznikne pět zkušebních hranolů, přičemž pro provedení dané zkoušky budou zapotřebí tři.



Obrázek 37. Nařezání desek na zkušební hranoly [7]

- 3) Důkladné omytí hranolů a následné usušení při teplotě 15 - 25 °C. Po usušení se změří rozměry tělesa.
- 4) Nalepení hranolu do příslušných čelistí ve svislé poloze. Jako lepidlo se užívá epoxidová pryskyřice. Po nalepení je vzorek umístěn do centrovacího rámu (obr. 38). Vzorek je ponechán v centrovacím rámu min. 24 hodin, což zaručuje vytvrdnutí pryskyřice.



Obrázek 38. Centrovací rám [7]

Pracovní postup zkoušky:

Po 24 hodinách je vytvrzena pryskyřice a těleso vyjmuto z centrovacího rámu. Vzorek je vložen do přístroje CYKLON – 40 a pomocí závitů v čelistech upevněn ke kardanovým závěsům zatěžovacího zařízení. Na čelisti je nutno osadit snímače deformací. Po osazení snímačů a zadání jejich nulové polohy, se do počítače zadají rozměry tělesa. Před započetím zkoušky je nutná teplota zkušební komory na 10 °C. Následně je zahájena zkouška, kdy teplota klesá rychlostí 10 °C/hod. Délka tělesa je udržována na konstantní hodnotě (omezení smršťování), tudíž začne narůstat tahové (kryogenní) napětí. Velikost napětí stoupá až do hodnoty porušení vzorku (obr. 39).



Obrázek 39. Ukázka porušeného vzorku [7]

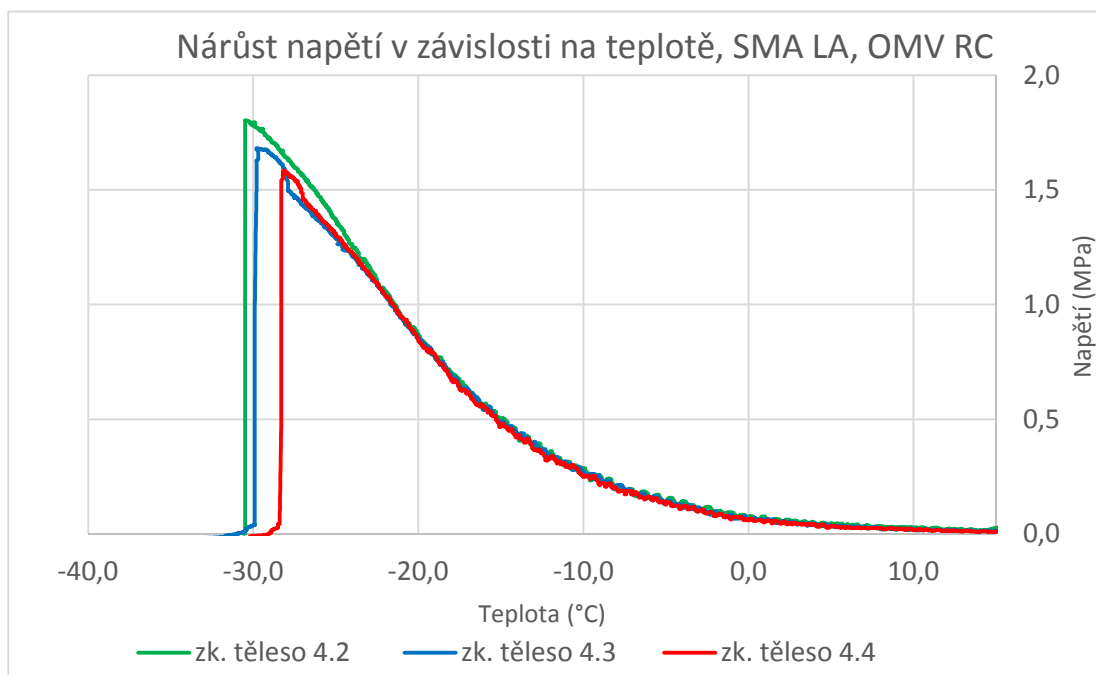
Výsledky:

Výsledkem této zkoušky je protokol, který graficky znázorňuje síly a deformace v závislosti na vzrůstající teplotě. Protokol uvádí teplotu vzorku i komory při porušení a také max. sílu a max. napětí při porušení. Tato zkouška je pro jednu asfaltovou směs prováděna třikrát. Výsledné hodnoty jsou dílčí průměr z naměřených hodnot. U naměřených hodnot by nemělo docházet k výraznějším odchylkám.

Za podezřelé výsledky je možno označit ty, kde se teplota při porušení vzorku liší o více než 2 °C nebo kde se napětí při porušení liší o více než 0,5 MPa.

Tabulka 22. Vyhodnocení zkoušky TSRST – OMV RC

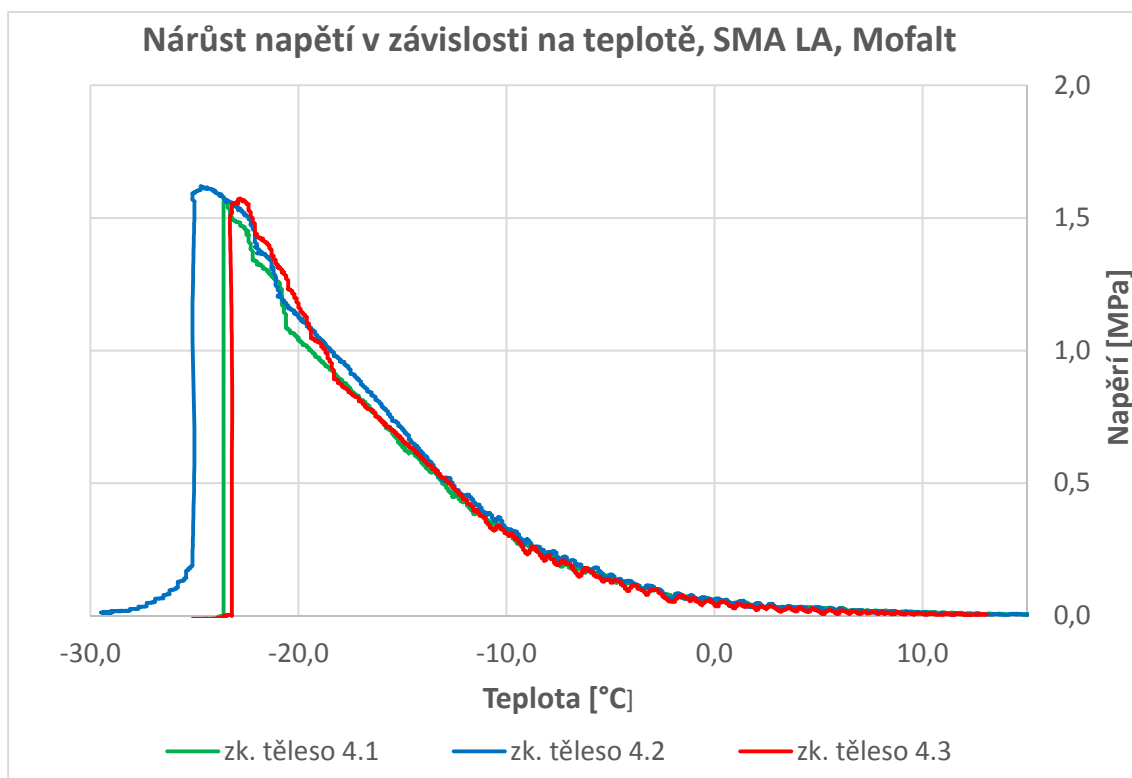
SMA LA 8, PMB 45/80 - OMV RC				
Charakteristika	Jednotky	Číslo vzorku		
		4.2	4.3	4.4
Síla při porušení	[kN]	4,64	4,20	3,96
Napětí při porušení	[Mpa]	1,80	1,68	1,58
Teplota vzorku při porušení	[°C]	-30,5	-29,8	-28,1
Teplota v komoře při porušení	[°C]	-34,6	-33,8	-32,4
Maximální delta def. průměrná	[mm]	0,008	0,007	0,008



Graf 2. Závislost nárůstu napětí na poklesu teploty, pojivo OMV RC

Tabulka 23. Vyhodnocení zkoušky TSRST - Mofalt

SMA LA 8, PMB 45/80-65 MOFALT				
Charakteristika	Jednotky	Číslo vzorku		
		4.1	4.2	4.3
Síla při porušení	[kN]	3,98	4,06	3,97
Napětí při porušení	[Mpa]	1,56	1,62	1,57
Teplota vzorku při porušení	[°C]	-23,6	-24,7	-22,8
Teplota v komoře při porušení	[°C]	-27,8	-28,9	-27,0
Maximální delta def. průměrná	[mm]	0,008	0,007	0,008



Graf 3. Závislost nárůstu napětí na poklesu teploty, pojivo Mofalt



Obrázek 40. Porušené vzorky, pojivo Mofalt [7]

Porovnání výsledků:

Tabulka 24. Srovnání nízkoteplotních vlastností různých typů směsí

Diplomant	Jan Němec		Vladimír Musil		Pavel Pěch		Pavel Šperka
typ směsi	SMA LA 8		BBTM 8 s 11% CRMB	BBTM 8 s 17% CRMB	ACL 22 S		ACO 11+
pojivo	Mofalt	OMV RC	OMV 50/70		PMB 15/80- 65	PMB 45/80- RC	50/70
% pojiva	6,5		8,5		4,5		5,8
teplota 1. vzorku [°C]	-23,6	-30,5	-20,6	-20,6	-21,2	-23	-18,6
teplota 2. vzorku [°C]	-24,7	-29,8	-20,9	-21,9	-22	-21,2	-18,7
teplota 3. vzorku [°C]	-22,8	-28,1	-21,3	-22,6	-23,4	-22,7	-18,4
průměrná teplota	-23,7	-29,5	-20,9	-21,7	-22,2	-22,3	-18,6

Dle tab. 24 si můžeme všimnout, že nízkoteplotní vlastnosti jsou závislé především na typu pojiva a mezerovitosti dané směsi. Pro tuto tabulku neexistuje normový požadavek, jedná se jen o názorné srovnání různých druhů asfaltových směsí.

Závěr:

Zkušební tělesa s pojivem 45/80-65 Mofalt (obr. 40) splňují normové podmínky pro teplotu a napětí. Tělesa s pojivem 45/80 OMV RC splňují podmínky pro napětí, avšak teplotní rozdíl měření přesahuje okrajové podmínky. Teplotní rozptyl je 2,4 °C a normová hodnota je 2 °C. Možná příčina je ve stupni zhutnění zkušebních těles, které je 97,2 %. Avšak přípustná min. mez pro stupeň zhutnění je 97 % dle Německých norem. Přesto jsou výsledky považovány za průkazné.

Bylo provedeno srovnání různých směsí z hlediska nízkoteplotních vlastností (příloha č. 7 a tabulka 24). Vzniku mrazové trhliny nejlépe odolává směs s užitým pojivem OMV RC. Teplota porušení vzorku této směsi je cca -30 °C, přičemž ostatní směsi dosahují hodnot v rozmezí -19 – -24 °C. Směs SMA 8 LA s pojivem OMV 45/80 RC vykazuje velice dobré nízkoteplotní vlastnosti.

6. Laboratorní zkoušky – Obalovaný makadam

6.1 Kamenivo

6.1.1 Stanovení zrnitosti kameniva – síťový rozbor [21]

Viz. odstavec 5.1.1

Závěr:

Síťový rozbor byl proveden na příslušných frakcích:

Kamenná moučka (filer), frakce 0/4, frakce 11/22 a frakce 16/32 (příloha č. 3).

Dle získaných údajů byla vhodně navrhována křivka zrnitosti (příloha č. 4).

6.1.2 Stanovení tvaru zrn – tvarový index [22]

Viz. odstavec 5.1.2

Výsledky:	1. navážka frakce 4/8	2. navážka frakce 4/8
	Celková hmotnost navážky $m_1 = 71,1$ g	$m_1 = 72,8$ g
	hmotnost nekubických zrn $m_2 = 13,3$ g	$m_2 = 9,9$ g
	Tvarový index $SI = 18,7$ %	$SI = 13,6$ %
	$\emptyset SI$ pro frakci 4/8 = 16,15 %.	
	3. navážka frakce 11/22	
	Celková hmotnost navážky $m_1 = 2000$ g	
	hmotnost nekubických zrn $m_2 = 443,3$ g	
	Tvarový index $SI = 22,1$ %	

Závěr:

Tvarový Index splňuje pro frakce 4/8 a 11/22 požadavky normy ČSN EN 13043:2004, které stanovují max. hodnoty tvarového indexu pro užití kameniva do podkladních vrstev.

6.1.3 Stanovení odolnosti proti drcení – metoda Los Angeles [35]

Dle normy = ČSN EN 1097-2

Podstata zkoušky:

Vzorek kameniva je vložen do zkušební bubny, kde se otlouká ocelovými koulemi. Příslušný počet ocelových koulí a otáček bubny je uveden v normě. Po skončení zkoušky se stanoví, kolik gramů kameniva nepropadne sítím o velikosti otvorů 1,6 mm.

Zkušební postup zkoušky:

Kamenivo je zbaveno podsítného a nadsítného. Před započítáním zkoušky je nutná kontrola čistoty bubny. Nejdříve jsou do bubny (obr. 41) vloženy ocelové koule (tab. 25) a potom zkušební navážka o hmotnosti m_1 . Buben se otáčí rychlostí 32 ot/min. Zkouška je skončena po vykonání 500 otáček. Kamenivo je vyjmuto z bubny společně se zkušebními koulemi. Koule jsou následně odstraněny, avšak nesmí dojít ke ztrátě jemných částic. Na drcené navážce je proveden síťový rozbor na síti 1,6 mm. Zůstatek na tomto síti se vysuší do ustálené hmotnosti a následně zváží jako hmotnost m_2 .

Tabulka 25. Alternativní klas. úzké frakce

klasifikace frakce (mm)	počet koulí	hmotnost náplně koulí (g)
4 až 8	8	3410 až 3540
6,3 až 10	9	3840 až 3980
8 až 11,2	10	4260 až 4420
11,2 až 16,0	12	5120 až 5300



Obrázek 41. Otevřený zkušební buben [7]

Výsledky:

$$LA = \frac{5000 - m_2}{50} = \frac{5000 - 4212}{50} = 15,76\%$$

Závěr:

Byl stanoven součinitel LA pro frakci 11/22 o velikosti 15,76%. Mezní hodnota odolnosti proti drcení dle ČSN EN 13043:2004 je pro podkladní vrstvy 20%. Naměřená hodnota splňuje normové meze.

6.2 Pojivo

6.2.1 Stanovení penetrace jehlou [23]

Viz. odstavec 5.2.1

Výsledky:

Tabulka 26. Výsledné hodnoty zkoušky - Mofalt

stanovení penetrace jehlou			
Silniční asfalt Mofalt 45/80-65			
číslo vpichu	hloubka vpichu (mm)	průměr (mm)	penetrace x0,1 (mm)
1	4,6	4,6	<u>46</u>
2	4,6		
3	4,6		

Tabulka 27. Výsledné hodnoty zkoušky – 50/70

stanovení penetrace jehlou			
Silniční asfalt 50/70			
číslo vpichu	hloubka vpichu (mm)	průměr (mm)	penetrace x0,1 (mm)
1	5,9	5,9	<u>59</u>
2	6		
3	5,8		

Závěr:

Hodnoty penetrace splňují požadavky normy ČSN EN 1426.

6.2.2 Stanovení bodu měknutí – kroužek a kulička [24]

Viz. odstavec 5.2.2

Výsledky:

Tabulka 28. hodnoty KK - Mofalt

stanovení bodu měknutí-kroužek a kulička			
silniční asfalt Mofalt 45/80-65			
	poloha kuličky	naměřená teplota (°C)	průměrná teplota (°C)
1. měření	Levá	65,4°C	65,5°C
	Pravá	65,5°C	
2. měření	Levá	65,2°C	65,3°C
	Pravá	65,4°C	

Tabulka 29. hodnoty KK – 50/70

stanovení bodu měknutí-kroužek a kulička			
silniční asfalt 50/70			
	poloha kuličky	naměřená teplota (°C)	průměrná teplota (°C)
1. měření	Levá	49,1°C	48,9°C
	Pravá	48,7°C	

Závěr:

Hodnoty dosažené pomocí zkoušky: stanovení bodu měknutí, splňují požadavky normy ČSN EN 1427.

6.3 Asfaltové směsi

6.3.1 Experimentální návrh asfaltové směsi typu obalovaný makadam hrubý 0/32

1. NÁVRH SMĚSÍ

Tabulka 30. Dávkování kameniva

Studené dávkování :		
		Celkem g
	%	1165
Moučka - Vitošov	1,5	17
0/2	0	0
4/8 Bílovice	8,5	99
8/11	0	0
11/22 Valšov	15	175
16/32 Valšov	75	874
	0	0
Suma	100	1165

Pojivo 50/70

Dávkování pojiva je 30 gramů = 2,5 %

Pracovní postup výroby směsi:

Pro tuto směs bylo nutné ruční míchání. Směs se špatně obaluje, z důvodu velké zrnitosti kameniva. Doba míchání musela být prodloužena na 5 minut. Teplota míchání byla 130°C a docházelo zde ke stékání směsi ve větší míře.

Z těchto laboratorních poznatků byl stanoven optimální návrh (obr. 42): obsah pojiva byl snížen na 2 %, teplota hutnění směsi zůstala na 130 °C a doba míchání je 5 minut.



Obrázek 42. Obalovaný makadam 0/32 se 2% pojiva

Závěr:

Byl stanoven optimální návrh pro směs typu obalovaný makadam hrubý 0/32. Avšak tento návrh není možné laboratorně zhutnit z důvodu velikosti kameniva. Na směsi tudíž nebyly provedeny zkoušky: stanovení objemové hmotnosti zkušebního tělesa, stanovení maximální objemové hmotnosti a určení mezerovitosti.

6.3.2 Experimentální návrh asfaltové směsi typu obalovaný makadam jemný 0/22

Experimentální návrh směsi spočíval ve snižování obsahu pojiva. Byly zhotoveny tři návrhy směsi. Na každém návrhu byly provedeny tyto zkoušky asfaltových směsí:

stanovení objemové hmotnosti Marshallova tělesa – 5.3.1.1

stanovení maximální objemové hmotnosti – 5.3.1.2

stanovení mezerovitosti – 5.3.1.3

Optimální množství pojiva zajišťuje dokonalé obalení zrn kameniva a stékavost by měla být omezena na minimum. Marshallova tělesa byla hutněna 2 x 25 úderů, z důvodu omezení drcení zrn.

1. NÁVRH SMĚSI

Tabulka 31. Dávkování kameniva

Studené dávkování :		
		Celkem g
	%	860
Moučka - Vitošov	1,5	13
0/2	0	0
4/8 Bílovice	8,5	73
8/11	0	0
11/22 Valšov	90	774
16/32 Valšov	0	0
	0	0
Suma	100	860

Pojivo silniční asfalt 50/70

Dávkování pojiva je 24 gramů = 3,0 %

Dle tohoto návrhu směsi byla vyrobena Marshallova zkušební tělesa. Teplota míchání byla 125 °C a teplota hutnění byla 120 °C, jelikož při vyšší teplotě hutnění docházelo k vypadávání tělesa ze směsi.

Výsledky zkoušek:

Zkouška objemové hmotnosti zkušebních těles metoda D:

Tabulka 32. Objemová hmotnost zkušebních těles

vzorek	ø výška (mm)	Průměr (mm)	hmotnost (kg)	objemová hmotnost (kg/m ³)
1	70,3	101,9	998,4	1740,9
2	63,3	101,6	888,5	1759,9
3	62	101,3	881,1	1776,0
Ø				1758,9

Zkouška stanovení maximální objemové hmotnosti:

Tabulka 33. Výsledky zkoušky maximální objem. hmotnosti

Pyknometr s vodou 2					
m pyknom	m suchá	m s vodou		hust.vody	m2-m1
m1	m2	m3	Vp		
0,7033	1,7559	2,6715	1314,913	997,1	1,0526
			0,001315		
maximální objemová hmotnost				2653,725 kg/m³	

Pyknometr s vodou 5					
m pyknom	m suchá	m s vodou		hust.trichloru	m2-m1
m1	m2	m3	Vp		
0,6931	1,6867	2,6295	1323,037	997,1	0,9936
			0,001323		
maximální objemová hmotnost				2632,0885 kg/m³	

Stanovení mezerovitosti:

Tabulka 34. Výsledky mezerovitosti

vzorek	objemová hmotnost (kg/m ³)	průměrná objemová hmotnost	mezerovitost (%)
1	1740,9	2642,9	34,1
2	1759,9		33,4
3	1776,0		32,8
Ø	1758,9		33,4

Závěr:

Při obsahu pojiva 3 % hmotnosti směsi, dochází při ručním míchání ke stékání pojiva z povrchu kameniva, což indikuje nadměrné množství pojiva. Pojivo stéká už při teplotě 130 °C. Při snížení teploty míchání na 125 °C se směs pomaleji obaluje. Pokud je užít modifikovaný asfalt Mofalt 45/80-65 je dosaženo stejných výsledků.

Tento návrh je nevhodný.

2. NÁVRH SMĚSI

Tabulka 35. Dávkování kameniva

Studené dávkování :		
		Celkem g
	%	1178
Moučka - Vitošov	1,5	18
0/2	0	0
4/8 Bílovice	8,5	100
8/11	0	0
11/22 Valšov	90	1060
16/32 Valšov	0	0
Suma	100	1178

Pojivo silniční asfalt 50/70

Dávkování pojiva je 24 gramů = 2,0 %

Dle tohoto návrhu směsi byla zhotovena Marshallova zkušební tělesa. Teplota míchání i hutnění byla stejná jako u návrhu 1.

Výsledky zkoušek:

Zkouška objemové hmotnosti zkušebních těles metoda D:

Tabulka 36. Objemová hmotnost zkušebních těles

vzorek	ø výška (mm)	Průměr (mm)	hmotnost (kg)	objemová hmotnost (kg/m ³)
10	67,8	100,8	909,6	1681,3
11	66,7	101,8	903,7	1665,7
12	66,1	101,3	902,5	1693,53
ø				1680,2

Zkouška stanovení maximální objemové hmotnosti:

Tabulka 37. Výsledky zkoušky maximální objem. hmotnosti

Pyknometr s vodou 2					
m pyknom	m suchá	m s vodou	Vp	hust.vody	m2-m1
m1	m2	m3			
0,7033	1,9217	2,778	1314,913	997,1	1,2184
			0,001315		
maximální objemová hmotnost				2671,212 kg/m³	

Pyknometr s vodou 5					
m pyknom	m suchá	m s vodou	Vp	hust.trichloru	m2- m1
m1	m2	m3			
0,6932	1,912	2,7725	1323,037	997,1	1,2188
			0,001323		
maximální objemová hmotnost				2649,368 kg/m³	

Stanovení mezerovitosti:

Tabulka 38. Výsledky mezerovitosti

vzorek	objemová hmotnost (kg/m ³)	průměrná objemová hmotnost	mezerovitost (%)
10	1681,3	2660,3	36,8
11	1665,7		37,4
12	1693,53		36,3
ø	1680,2		36,8

Závěr:

Při obsahu pojiva 2 % hmotnosti směsi se jeví směr jako příliš „suchá“.

Prodluhuje se doba míchání a větší zrna kameniva se obtížněji obalují. Tento návrh je nevhodný.

3. NÁVRH SMĚSI

Tabulka 39. Dávkování kameniva

Studené dávkování :		
		Celkem
	%	1165
Moučka - Vitošov	1,5	17
0/2	0	0
4/8 Bílovice	8,5	99
8/11	0	0
11/22 Valšov	15	175
16/32 Valšov	75	874
Suma	100	1165

Pojivo silniční asfalt 50/70

Dávkování pojiva je 30 gramů = 2,5 %

Dle tohoto návrhu směsi byla zhotovena Marshallova zkušební tělesa. Teplota míchání i hutnění byla stejná jako u návrhu 1.

Výsledky zkoušek:

Zkouška objemové hmotnosti zkušebních těles metoda D:

Tabulka 40. Objemová hmotnost zkušebních těles

vzorek	ø výška (mm)	Průměr (mm)	hmotnost (kg)	objemová hmotnost (kg/m³)
4	60,7	101,5	877,4	1788,5
5	61,7	101,5	868,6	1743,0
ø				1765,8

Zkouška stanovení maximální objemové hmotnosti

Tabulka 41. Výsledky zkoušky maximální objem. hmotnosti

Pyknometr s vodou3					
m pyknom	m suchá	m s vodou	Vp	hust.vody	m2-m1
m1	m2	m3			
0,6852	1,674	2,6037	1308,073	997,1	0,9888
			0,001308		
maximální objemová hmotnost				2632,104 kg/m³	

Pyknometr s vodou 4					
m pyknom	m suchá	m s vodou	Vp	hust.trichloru	m2- m1
m1	m2	m3			
0,6908	1,6878	2,6288	1322,736	997,1	0,997
			0,001323		
maximální objemová hmotnost				2630,613 kgm ³	

Stanovení mezerovitosti:

Tabulka 42. Výsledky mezerovitosti

vzorek	objemová hmotnost (kg/m ³)	průměrná objemová hmotnost	mezerovitost (%)
4	1788,5	2631,4	32
5	1743,0		33,8
∅	1765,8		32,9

Závěr:

Kamenivo je po 3 minutách zcela obaleno pojivem. Dochází ke stékání pojiva v malé míře. Vhodný návrh.

4. NÁVRH SMĚSI

Dávkování kameniva a pojiva je stejné jako u návrhu č. 3, ale je zde užít modifikovaný asfalt mofalt 45/80-65. Teplota míchání a hutnění je stejná jako u návrhu 1.

Výsledky zkoušek:

Zkouška objemové hmotnosti zkušebních těles metoda D:

Tabulka 43. Objemová hmotnost zkušebních těles

vzorek	ø výška (mm)	Průměr (mm)	hmotnost (kg)	objemová hmotnost (kg/m ³)
7	59,6	101,5	849,2	1763,4
8	62,7	102	867,3	1754,4
9	64,2	101,1	894,4	1736,3
ø				1758,9

Zkouška stanovení maximální objemové hmotnosti: Výsledné hodnoty jsou stejné jako u návrhu číslo 3.

Stanovení mezerovitosti:

Tabulka 44. Výsledky mezerovitosti

vzorek	objemová hmotnost (kg/m ³)	průměrná objemová hmotnost	mezerovitost (%)
7	1763,4	2631,4	33
8	1754,4		33,3
9	1736,3		34
ø	1758,9		33,4



Obrázek 43. Obalovaný makadam 0/22, 2,5% pojiva

Zkušební těleso bylo rozříznuto na kotoučové pile. Na obrázku č. 44 je vidět velká mezerovitost kameniva a omezené množství drcených zrn

*Obrázek 44. Detail rozříznutého tělesa
s drcenými zrny kameniva [7]*



Závěr:

Tento návrh dosahuje stejných výsledků jako návrh číslo 3. Modifikované pojivo nemá rozhodující vliv na tento návrh.

6.3.3 Vyhodnocení návrhu směsi typu obalovaný makadam jemný 0/22

Tabulka 45. Vyhodnocení návrhů směsi OM

B_{min}	$B_{min}^{1)}$	B_{vol}	$\rho_{bssd}^{2)}$	ρ_{mv}	V	VMA	VFB	ρ_d
[kg/100 kg]	[%]	[v % obj.]	[Mg.m ⁻³]	[Mg.m ⁻³]	[%]	[%]	[%]	[Mg.m ⁻³]
2,04	2,0	3,3	1,680	2,660	36,8	40,1	8	2,753
2,56	2,5	4,3	1,766	2,631	32,9	37,1	11	2,746
3,09	3,0	5,2	1,759	2,643	33,4	38,5	13	2,784

Vysvětlivky k použitým zkratkám

B_{min}	[kg/100 kg, %]	obsah rozpustného pojiva
B_{min}^1	[%]	výsledný obsah pojiva
B_{vol}	[% obj.]	obsah rozpustného pojiva, hustota asfaltového pojiva při 20 °C je 1020 kg/m ³
ρ_{bssd}	[kg.m ³]	objemová hmotnost asfaltové směsi
ρ_{mv}	[kg.m ³]	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi
V	[%]	mezerovitost zhutněné asfaltové směsi
VMA	[%]	mezerovitost směsi kameniva
VFB	[%]	stupeň vyplnění mezer
ρ_d	[kg.m ³]	objemová hmotnost směsi kameniva

Závěr:

Byly provedeny tři návrhy směsi typu obalovaný makadam. Směs s obsahem pojiva 2 % se obtížně obalovala a výrazně se prodloužila doba míchání. Naopak směs se 3 % pojiva se obalovala lépe, ale docházelo ve velké míře ke stékání pojiva. Optimální směs se jeví s obsahem pojiva 2,5 %. Směs nepotřebuje prodlouženou dobu míchání a stékání je omezeno na minimum. Všechny návrhy směsí vykazovaly drcená zrna, ale v minimální míře.

Hodnoty v tabulce č. 45 jsou pouze orientační. Rozhodující pro volbu návrhu byla stékavost pojiva, podíl drcených zrn a dokonalá schopnost pojiva obalit kamenivo. Všechny tyto faktory jsme posuzovali vizuálně.

7. Závěr

Cílem první části diplomové práce byl návrh asfaltové směsi typu SMA 8 LA a následné funkční zkoušky asfaltových směsí. Pro tento návrh byla užita dvě modifikovaná asfaltová pojiva Mofalt 45-80-65 a OMV RC 45/80. Návrh směsi je obtížnější oproti klasické směsi SMA. Z důvodu zvýšení mezerovitosti musela být upravena metoda zjištění objemové hmotnosti zkušebního tělesa (viz. odstavec 5.3.2). Druhý návrh směsi s množstvím pojiva 6,5 % splňuje normové podmínky pro mezerovitost asfaltové směsi 10 - 12 %.

Dle tohoto návrhu byla vyrobena zkušební tělesa a následně vystavena funkčním zkouškám asfaltových směsí. Zkouška odolnosti proti trvalým deformacím má pro obě pojiva přibližně stejné výsledky. Výsledky zkoušky splňují hodnoty pro směs, která má zvýšenou odolnost proti trvalým deformacím. Avšak výsledky zkoušky nízkoteplotních vlastností dosahují značně rozdílných hodnot. Tělesa s pojivem Mofalt dosahují průměrných hodnot teploty porušení vzorku cca -23,7 °C. Naproti tomu tělesa s pojivem OMV RC se poruší až při teplotě cca -30 °C. Tato směs vykazuje jednu z největších odolností proti vzniku mrazové trhliny ve srovnání s různými druhy směsí (viz odstavec 5.3.3.2). Dle výše uvedených návrhů byly získány jedny z prvních zkušeností se směsí typu SMA 8 LA. Funkční parametry směsi byly kladně srovnány s klasickými mastixovými koberci.

Je však nutné zdůraznit určitá specifika spojená s vrstvou SMA 8 LA. Tuto směs je vhodné pokládat při opravách obrusných vrstev na nové ložní vrstvy se sníženou mezerovitostí. Je vhodné užít finišery, které před pokládkou směsi nanесou nástřík spojovací emulze. Z důvodu otevřenosti textury povrchu zde bude v zimních období zvýšená spotřeba posypových solí. Pro posyp se nesmí užít inertní materiál ani podrcení, z důvodu zaplnění mezer a zhoršení makrotextury.

Směsi SMA 8 LA jsou dle mého názoru vhodnou variantou nízkohlučných asfaltových úprav v ČR.

Účelem druhé části diplomové práce je návrh dvou podkladních směsí typu obalovaný makadam. Jedná se o obalovaný makadam hrubý frakce 0/32 a obalovaný makadam jemný frakce 0/22.

Pro směs obalovaného makadamu hrubého 0/32 jsem docílil optimálního návrhu směsi z hlediska dokonalého obalení kameniva pojivem při omezení stékání pojiva na minimum. Nicméně pro tento návrh nemá laboratoř ústavu pozemních komunikací VUT vhodný zhutňovací přístroj. Ačkoli tento návrh směsi nebyl laboratorně zhutněn, tak dle vizuálních poznatků, je vhodný jako podkladní vrstva.

Pro směs obalovaného makadamu jemného 0/22 byl stanoven optimální návrh s množstvím pojiva 2,5 %. Tato směs má kratší dobu míchání a je zaručeno dokonalé obalení zrn kameniva pojivem. Jako u návrhu obalovaného makadamu hrubého, tak i tady se vyskytuje stékavost pojiva v malé míře. Je zde problém při hutnění, jelikož dochází k drcení zrn. Tento problém byl snížen na minimum redukcí počtu úderů na Marshallově pěchu. Pokud je užito modifikované pojivo směs se lépe hutní, nicméně pro finančně nenáročnou směs je toto pojivo nevhodné. Menší finanční náročnost je především způsobena nízkým obsahem pojiva a omezením podílu střednězrnných frakcí kameniva. Dle tohoto návrhu se bude provádět první zkušební úsek (viz. příloha č. 8)

Závěr druhé části práce je obnovení levné podkladní vrstvy typu obalovaný makadam a její předpokládané užití pro nízkozatížené vozovky. Tato směs by byla vhodným řešením levných podkladních vrstev v ČR.

8. Literatura

- [1] Snížování hluku možnými úpravami obrusné vrstvy vozovky. *Silnice a železnice* [online]. Ostrava - Zábřeh: KONSTRUKCE Media, s.r.o., 2010 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/snizovani-hluku-moznymi-upravami-obrusne-vrstvy-vozovky/>
- [2] Vitězslav Křivánek, *Silniční doprava: hluk způsoby mapování a měření*. Líšenská 33a, FAST VUT Brno, 2015.
- [3] Experimentální poznatky s návrhem akustických asfaltových směsí SMA LA a LOA. *Silnice a železnice* [online]. Ostrava - Zábřeh: KONSTRUKCE Media, s.r.o., 2014 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/experimentalni-poznatky-s-navrhem-akustickych-asfaltovych-smesi-sma-la-a-loa/>
- [4] STOKLÁSEK, Svatopluk. Akustické optimalizované povrchy vozovek nedrenážního typu. *Silnice mosty*. **2010**(3): 7.
- [5] ZÍTKA, Patrik. *Nízkohlučné povrchy vozovek* [online]. Brno, 2012 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=75089. VUT FAST.
- [6] Snížení dopravní nehodovosti v ČR je úspěchem nebo neúspěchem. *Silnice a železnice* [online]. Ostrava - Zábřeh: KONSTRUKCE Media, s.r.o., 2011 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/snizeni-dopravni-nehodovosti-v-cr-je-uspechem-nebo-neuspechem/>
- [7] Fotodokumentace Němec
- [8] HÝZL, Petr. *Asfaltové směsi*. VUT FAST Brno, 2014.
- [9] Brodbeck Metzingen saniert B 14 zweispurig Heiß-auf-Heiß an einem Tag. *Hiq-solutions* [online]. Palais Alserbach: Alserbachstraße, 2011 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.hiq-solutions.at/index.php?id=91&L=0>
- [10] VIAPHONE – asfaltová směs pro snížení hluku a bezpečnou jízdu. *Silnice a železnice* [online]. Ostrava - Zábřeh: KONSTRUKCE Media, s.r.o., 2010 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/viaphone->

[asfaltova-smes-pro-snizeni-hluku-a-bezpecnou-jizdu/](#)

- [11] Eurovia CS. *Eurovia a.s* [online]. Praha 1, 2015 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.eurovia.cz/cs/home>
- [12] Tichý asfalt sníží hladinu hluku na D1 u Průhonic. *Silnice a železnice* [online]. Ostrava - Zábřeh: KONSTRUKCE Media, s.r.o., 2014 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/tichy-asfalt-snizi-hladinu-hluku-na-d1-u-pruhonic/>
- [13] Švédský expert seznámil české odborníky s využitím gumoasfaltu. *Silnice a železnice* [online]. Ostrava - Zábřeh: KONSTRUKCE Media, s.r.o., 2012 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/svedsky-expert-seznamil-ceske-odborniky-s-vyuzitim-gumoasfaltu/>
- [14] Dopravní stavby. *SYCOREX CR* [online]. Chocerady: lefiath.cz, 2014 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.sycorex.cz/dopravni-stavby/>
- [15] Gumová hrozba. *Týden.cz* [online]. Praha: EMPRESA MEDIA, 2008 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: http://www.tyden.cz/rubriky/zahranici/evropa/snad-to-nechytne-mesto-desi-obri-skladka-pneumatik_264251.html
- [16] Gumoasfaltova směs. *Paramo* [online]. Pardubice, 2013 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.paramo.cz/cs/Media/tiskove-zpravy/Stranky/Mleta-guma-v-asfaltu-prispiva-ke-snizeni-hluku-i-nebezpeci-smyku.aspx>
- [17] Radenberg, M., Sander, R., Lärmtechnisch optimist, In: časopis asfalt 8/2007. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/prehled-vlastnosti-pohltychprotihlukovych-sten-na-ceskem-trhu_N3475
- [18] *Silniční podklad z obalovaného drceného kameniva typu OM*. 1978. Olomouc: Bratislava, 1983.
- [19] Lom Jakubčovice. *Eurovia kamenolomy* [online]. Jakubčovice nad Odrou: brno, 2013 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.euroviakamenolomy.cz/JakubDefault.aspx?MID=635>
- [20] Průmyslová vlákna - S-CEL 7. *CIUR.a.s.* [online]. Praha: Copyright, 2015 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.ciur.cz/clanek/zobrazit/prumyslova-vlakna-s-cel-7>
- [21] ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení

zrnitosti – Sítový rozbor. Praha: Český normalizační institut, červen

- [22] ČSN EN 993-4 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index. Praha: Český normalizační institut, říjen 2008.
- [23] ČSN EN 1426 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007
- [24] ČSN EN 1427 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007
- [25] ČSN EN 12697-6+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007
- [26] ČSN EN 12697-5+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007
- [27] ČSN EN 12697-8 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí*. Praha: Český normalizační institut, květen 2004.
- [28] Michal Varaus. *Nízkohlučné Asfaltové koberce mastixové*. Brno: VUT FAST, 2011, : 8
- [29] ČSN EN 12697-33 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek*. Praha: Český normalizační institut, listopad 2004.
- [30] ČSN EN 12697-22 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [31] ČSN EN 12697-46. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [32] ŠPERKA, Pavel. *VLIV POUŽITÍ R - MATERIÁLU NA FUNKČNÍ VLASTNOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ* [online]. Brno, 2015 [cit. 2015-12-07]. Dostupné z:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_ver. VUT FAST. Vedoucí práce Petr Hýzl.

- [33] Protokol o zkoušce. *Paramo* [online]. Pardubice, 2011 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: https://eshop.paramo.cz/data/VyrobkovaDokumentace/zkouska11_458065.pdf
- [34] MICHAL, Varaus. *Zkoušky asfaltových pojiv PmB 45/80 a PmB 45/80 RC*. VUT FAST, 2014.
- [35] ČSN EN 1097-2 Zkoušení mechanických vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení. Praha: Český normalizační institut, červenec 1999.

9. Seznam obrázků

Obrázek 1. Pneumatika SRTT Metody CPX(vlevo) a metoda SPB(vpravo) [2].....	12
Obrázek 2. Metoda SPB [2]	13
Obrázek 3. Metoda CPX – měřicí přívěs tažený os. automobilem [2]	14
Obrázek 4. Konkávní typ povrchu [5].....	17
Obrázek 5. Konvexní typ povrchu [5].....	17
Obrázek 6. Mikrotextura a makrotextura [6]	18
Obrázek 7. Vznik valivého hluku (vlevo) a pohlcení valivého hluku (vpravo) [1]	19
Obrázek 8. Nízkohlučné koberce mastixové [7].....	20
Obrázek 9. Rozdílné křivky zrnitosti SMA 8 S a SMA 8 LA [7].....	21
Obrázek 10. Asfaltový koberec drenážní [1]	22
Obrázek 11. Zajištění koheze u směsi drenážního asfaltového koberce [1]	23
Obrázek 12. Dvouvrstvý drenážní koberec, spodní vrstva tvořena PA 8 a horní vrstva tvořena PA 16 [8].....	24
Obrázek 13. Finišer pro pokládku dvouvrstvých drenážních koberců opatřen oddělenými násypkami [9].....	25
Obrázek 14. EUROVIA CS [11].....	25
Obrázek 15. Asfaltová směs VIAPHONE [12].....	26
Obrázek 16. Makrotextura VIAPHONE [12]	27
Obrázek 17. Gumoasfaltová směs [16]	28
Obrázek 18. Skládka použitých pneumatik (vlevo) a drcenný pryžový granulát (vpravo) [14].....	29

Obrázek 19. Směs LOA 5D [17].....	31
Obrázek 20. Kamenná moučka (vlevo) a celulózová vlákna (vpravo) [7]	32
Obrázek 21. Frakce 4/8 (vlevo) a frakce 0/2 (vpravo) [7]	32
Obrázek 22. Ukázka kontaminových vzorků [7]	33
Obrázek 23. Filer (vlevo) a frakce 4/8 (vpravo) [7].....	35
Obrázek 24. Frakce 11/22 (vlevo) a frakce 16/32 (vpravo) [7]	35
Obrázek 25. Střásací přístroje [7].....	38
Obrázek 26. Dvoučelist'ové měřidlo [7]	39
Obrázek 27. Penetrační přístroj [7]	41
Obrázek 28. Přístroj pro stanovení bodu měknutí [7].....	42
Obrázek 29. Marshallův pěch (vlevo) a jednotlivé části zhutňovací formy (vpravo) [7]	45
Obrázek 30. Zhutňovač desek [7]	53
Obrázek 31. Zhutňovací forma [7].....	54
Obrázek 32. Jednotlivé lamely (vlevo) a krycí plech (vpravo) [7]	55
Obrázek 33. Pryžové obruče (vlevo) a zatěžovací kotouče [7].....	56
Obrázek 34. Zkušební desky po zkoušce vyjetí kolem (vlevo) a detail hloubky vyjetí kola (vpravo) [7]	56
Obrázek 35. Zkušební zařízení CYKLON – 40, detail upevněného vzorku [7].....	58
Obrázek 36. Podstata zkoušky TSRST [31].....	59
Obrázek 37. Nařezání desek na zkušební hranoly [7].....	60

Obrázek 38. Centrovací rám [7].....	60
Obrázek 39. Ukázka porušeného vzorku [7].....	61
Obrázek 40. Porušené vzorky, pojivo Mofalt [7].....	63
Obrázek 41. Otevřený zkušební buben [7].....	66
Obrázek 42. Obalovaný makadam 0/32 se 2 % pojiva [7].....	69
Obrázek 43. Obalovaný makadam 0/22, 2,5 % pojiva [7].....	77
Obrázek 44. Detail rozříznutého tělesa s drcenými zrny kameniva [7].....	77

10. Seznam tabulek

Tabulka 1. Snížení hluku.....	27
Tabulka 2. Výsledné hodnoty zkoušky pojiva OMV RC 45/80	41
Tabulka 3. Výsledné hodnoty zkoušky pojiva Mofalt 45/80-65.....	41
Tabulka 4. Hodnoty KK Mofalt	43
Tabulka 5. Hodnoty KK OMV RC	43
Tabulka 6. Dávkování kameniva.....	44
Tabulka 7. Stanovení objemové hmotnosti metoda D a B.....	46
Tabulka 8. Maximální objemová hmotnost - voda	47
Tabulka 9. Maximální objemová hmotnost - trichlor	48
Tabulka 10. Určení mezerovitosti metoda D	48
Tabulka 11. Určení mezerovitosti metoda B s poklepem	49
Tabulka 12. Dávkování kameniva.....	49
Tabulka 13. Maximální objemová hmotnost - voda	50
Tabulka 14. Maximální objemová hmotnost - trichlór	50
Tabulka 15. Stanovení objemové hmotnosti – metoda D	50
Tabulka 16. Stanovení objemové hmotnosti – metoda B s poklepem	51
Tabulka 17. Určení mezerovitosti metoda B.....	51
Tabulka 18. Vyhodnocení návrhů směsi SMA 8 LA.....	52
Tabulka 19. Studené dávkování kameniva.....	53
Tabulka 20. Hodnoty PRD a VTS na vzduchu	57

Tabulka 21. Objemová hmotnost desek tl. 50 mm.....	59
Tabulka 22. Vyhodnocení zkoušky TSRST – OMV RC	62
Tabulka 23. Vyhodnocení zkoušky TSRST - Mofalt	62
Tabulka 24. Srovnání nízkoteplotních vlastností různých typů směsí.....	64
Tabulka 25. Alternativní klas. úzké frakce	66
Tabulka 26. Výsledné hodnoty zkoušky - Mofalt.....	67
Tabulka 27. Výsledné hodnoty zkoušky – 50/70	67
Tabulka 28. Hodnoty KK - Mofalt.....	68
Tabulka 29. Hodnoty KK – 50/70.....	68
Tabulka 30. Dávkování kameniva.....	69
Tabulka 31. Dávkování kameniva.....	70
Tabulka 32. Objemová hmotnost zkušebních těles.....	71
Tabulka 33. Výsledky zkoušky maximální objem. hmotnosti.....	71
Tabulka 34. Výsledky mezerovitosti	72
Tabulka 35. Dávkování kameniva.....	72
Tabulka 36. Objemová hmotnost zkušebních těles.....	73
Tabulka 37. Výsledky zkoušky maximální objem. hmotnosti.....	73
Tabulka 38. Výsledky mezerovitosti	73
Tabulka 39. Dávkování kameniva.....	74
Tabulka 40. Objemová hmotnost zkušebních těles.....	74
Tabulka 41. Výsledky zkoušky maximální objem. hmotnosti.....	75

Tabulka 42. Výsledky mezerovitosti	75
Tabulka 43. Objemová hmotnost zkušebních těles.....	76
Tabulka 44. Výsledky mezerovitosti	76
Tabulka 45. Vyhodnocení návrhů směsi OM	78

11. Seznam grafů

Graf 1. Závislost hloubky vyjeté koleje na počtu zatěžovacích cyklů, pojiva OMV RC a Mofalt	57
Graf 2. Závislost nárůstu napětí na poklesu teploty, pojivo OMV RC	62
Graf 3. Závislost nárůstu napětí na poklesu teploty, pojivo Mofalt.....	63

12. Seznam rovnic

Rovnice 1. Měření hladiny hluku	11
Rovnice 2. Příklad měření hladiny hluku.....	24
Rovnice 3. Přepočet množství pojiva.....	34
Rovnice 4. Vzorec proti přetížení sít.....	37
Rovnice 5. Procentuální výpočet jemných částic.....	38
Rovnice 6. Výpočet tvarového indexu.....	40
Rovnice 7. Výpočet objemové hmotnosti metoda D.....	45
Rovnice 8. Výpočet objemové hmotnosti metoda B.....	46
Rovnice 9. Výpočet maximální objemové hmotnosti.....	47
Rovnice 10. Výpočet mezerovitosti.....	48
Rovnice 11. Výpočet přesné navážky na desku.....	54
Rovnice 12. Výpočet hodnoty WTS_{AIR}	57

13.Seznam Příloh

- 1) Sítový rozbor pro SMA LA 8
 - a. filer
 - b. frakce 0/2
 - c. frakce 4/8
 - d. křivky zrnitosti kameniva
- 2) Křivka zrnitosti kameniva SMA LA 8 a SMA 8 S
- 3) Sítový rozbor pro obalovaný makadam
- 4) Křivka zrnitosti obalovaného makadamu
- 5) Graf parametrů vlastností OM 0/22
- 6) Výsledky nízkoteplotních vlastností
 - a. Pojivo mofalt těleso 4.1
 - b. Pojivo mofalt těleso 4.1
 - c. Pojivo mofalt těleso 4.1
 - d. Pojivo OMV RC těleso 4.2
 - e. Pojivo OMV RC těleso 4.3
 - f. Pojivo OMV RC těleso 4.4
- 7) Srovnání nízkoteplotních charakteristik
- 8) Zkušební úsek pro obalovaný makadam

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - sítový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic FILER Průměr

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	154,7
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	22,7
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	3,20
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100\%$	87,38

2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok sít	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	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	0,0	0	0	100
2	0,0	0	0	100
1	0,0	0	0	100
0,5	0,0	0	0	100
0,25	0,1	0	0	100
0,125	1,7	1	1	99
0,063	17,4	11	12	88
Dno	sítový rozbor P	3,2	87,6	100,0
Dno	jemné částice ($M_1 - M_2$)	132,0		
Celkem	154,3			

Zkoušku provedl: Němec

Datum:: 27.3.2015

Podmínky prostředí:

Teplota:.....

Rel.vlhkost vzduchu:.....

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic 0/2 Průměr

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	250,8
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	249,5
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	1,35
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100\%$	1,04

2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok sít	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	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	0,0	0	0	100
2	8,6	3	3	97
1	76,4	30	34	66
0,5	56,2	22	56	44
0,25	45,4	18	74	26
0,125	46,4	19	93	7
0,063	15,5	6	99	1
Dno	síťový rozbor P	0,9	0,8	100,0
Dno	jemné částice (M1 - M2)	1,3		
Celkem		250,5		

Zkoušku provedl: Němec,

Datum:: 3.3.2015

Podmínky prostředí:

Teplota:.....

Rel.vlhkost vzduchu:.....

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic 4/8 Průměr

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	758,0
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	755,8
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,70
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100\%$	0,38

2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok sít	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	37,3	5	5	95
5,6	434,3	57	62	38
4	209,4	28	90	10
2	60,1	8	98	2
1	9,9	1	99	1
0,5	2,8	0	99	1
0,25	0,9	0	100	0
0,125	0,5	0	100	0
0,063	0,4	0	100	0
Dno	síťový rozbor P	0,2	0,3	100,0
Dno	jemné částice (M1 - M2)	2,2		
Celkem	757,7			

Zkoušku provedl: Němec

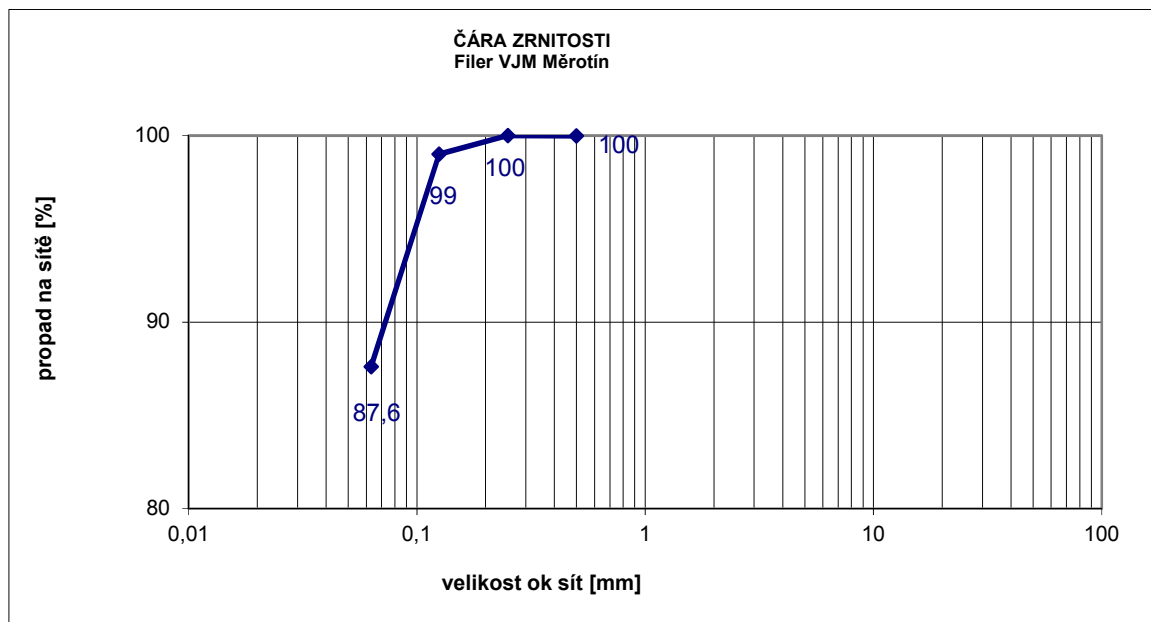
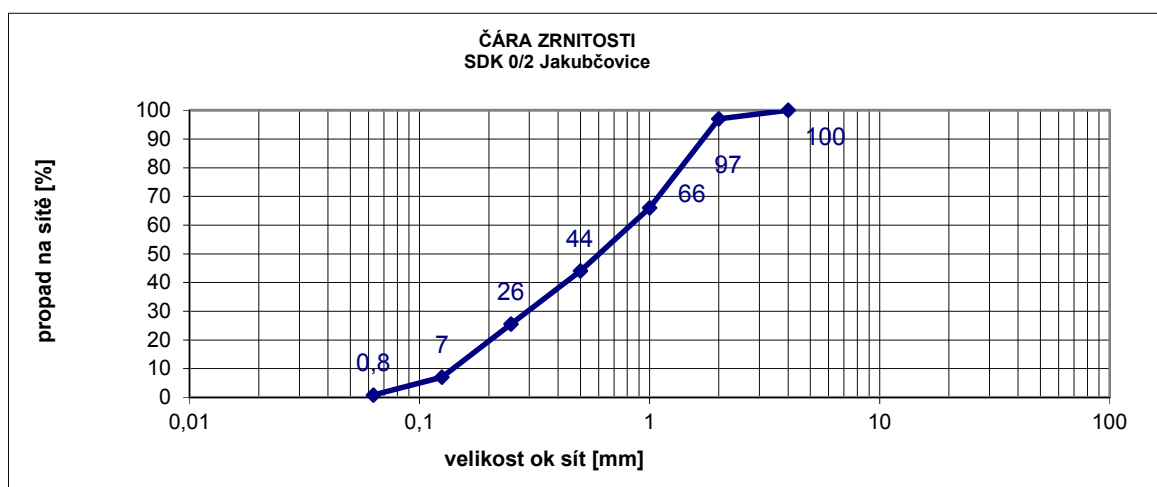
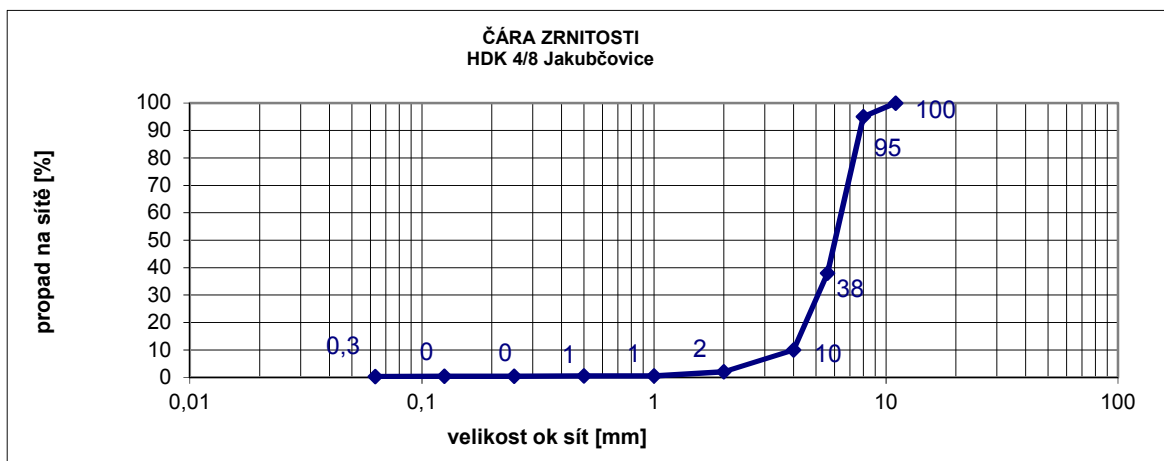
Datum:: 27.3.2015

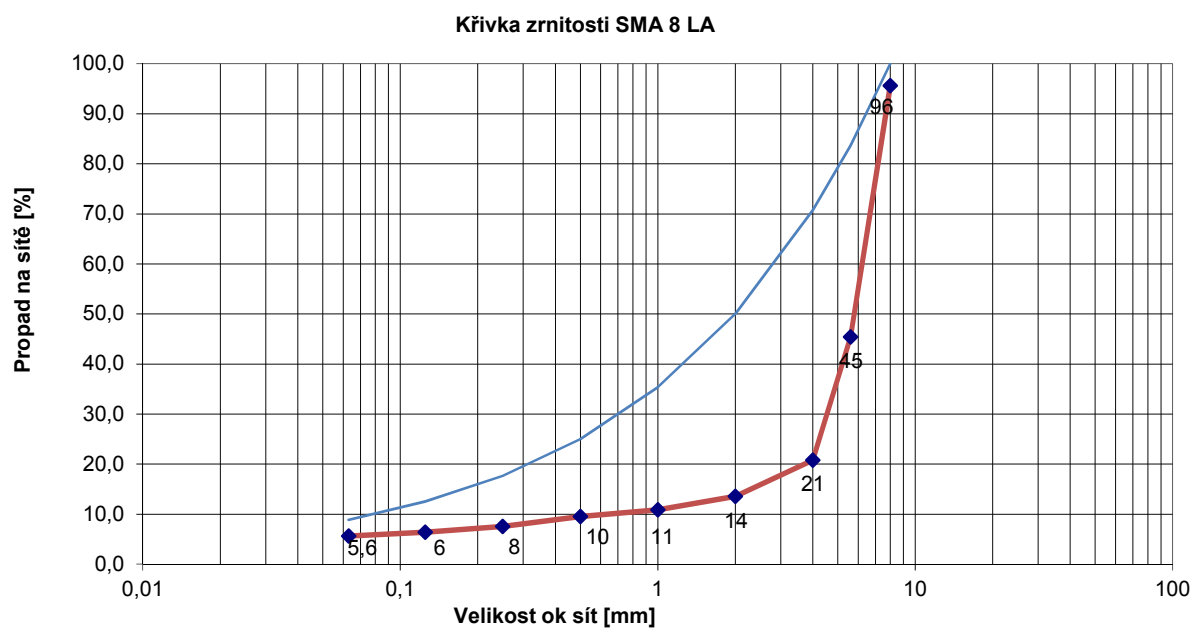
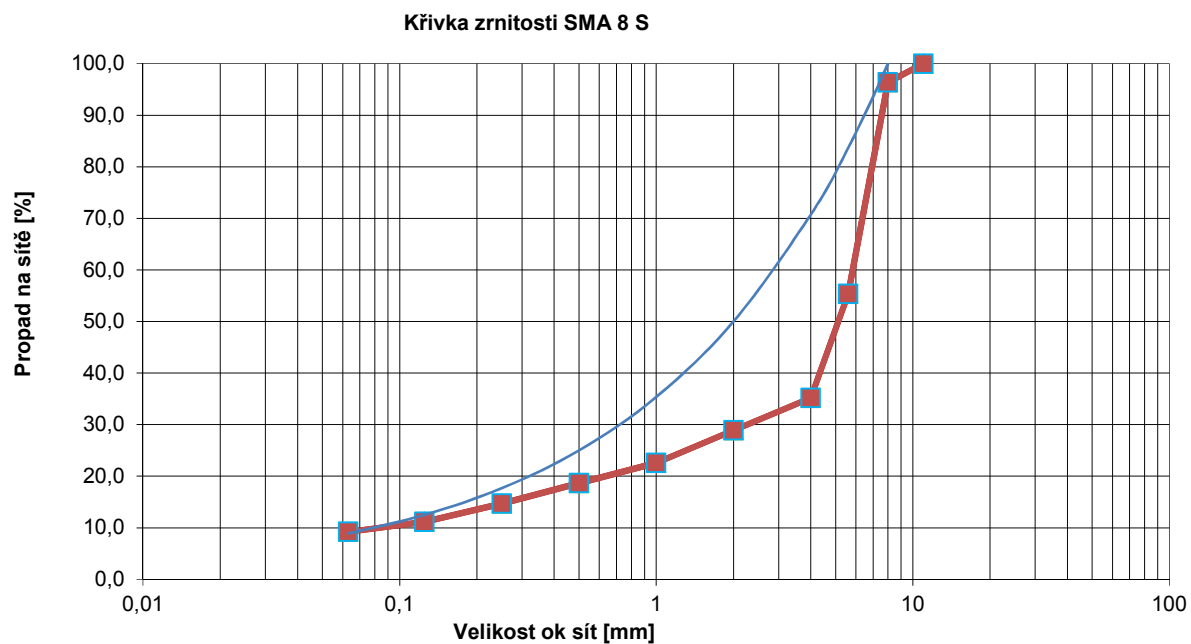
Podmínky prostředí:

Teplota:.....

Rel.vlhkost vzduchu:.....

Příloha 1d - Čáry zrnitosti jednotlivých použitých frakcí kameniva





Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic	4/8 Průměr
Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	632,7
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	615,0
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,85
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100\%$	2,93

2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok sít		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		7,7	1	1	99
5,6		221,6	35	36	64
4		245,3	39	75	25
2		107,9	17	92	8
1		12,5	2	94	6
0,5		6,8	1	95	5
0,25		4,2	1	96	4
0,125		4,2	1	96	4
0,063		3,6	1	97	3
Dno	sítový rozbor P	0,9	2,9	100,0	0,0
Dno	jemné částice (M1 - M2)	17,7			
Celkem		632,2			

Zkoušku provedl: Němec

Datum: 27.3.2015

Podmínky prostředí:

Teplota:

Rel.vlhkost vzduchu:

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic 11/22 Průměr

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	6440,2
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	6418,2
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	2,5
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100\%$	1,17

2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok sít	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	77,5	1	1	99
16	2823,3	44	45	55
11,2	2697,3	42	87	13
8	741,3	12	98	2
5,6	0,0	0	98	2
4	59,5	1	99	1
2	2,0	0	99	1
1	1,8	0	99	1
0,5	1,1	0	99	1
0,25	1,3	0	99	1
0,125	3,0	0	100	0
0,063	5,4	0	100	0
Dno	síťový rozbor P	2,5	0,4	100,0
Dno	jemné částice (M1 - M2)	22,0		
Celkem		6438,0		

Zkoušku provedl: Němec
Datum:: 3.3.2015

Podmínky prostředí:
Teplota:.....
Rel.vlhkost vzduchu:.....

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic 16/32 Průměr

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	9703,8
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	9672,2
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	3,3
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100\%$	1,08

2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok sít	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	131,8	1	1	99
22,4	4930,2	51	53	47
16	3104,3	32	85	15
11,2	1154,8	12	97	3
8	159,0	2	99	1
5,6	0,0	0	99	1
4	68,6	1	99	1
2	4,7	0	99	1
1	1,7	0	99	1
0,5	2,1	0	99	1
0,25	3,4	0	99	1
0,125	6,0	0	100	0
0,063	8,4	0	100	0
Dno	síťový rozbor P	3,5	0,4	100,0
Dno	jemné částice ($M_1 - M_2$)	31,6		
Celkem	9610,1			

Zkoušku provedl: Němec

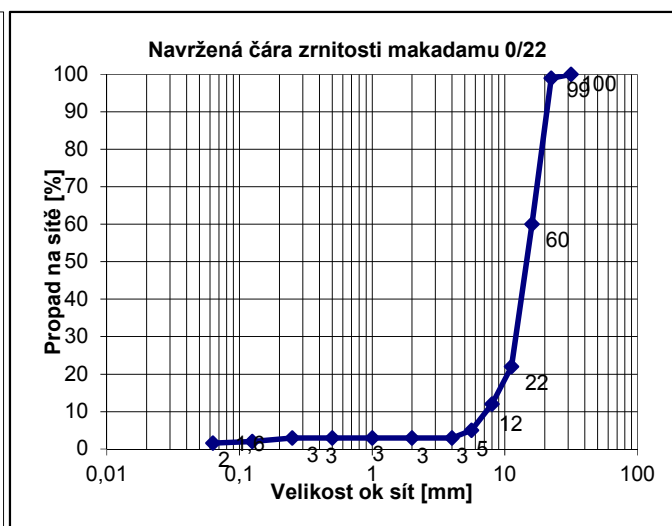
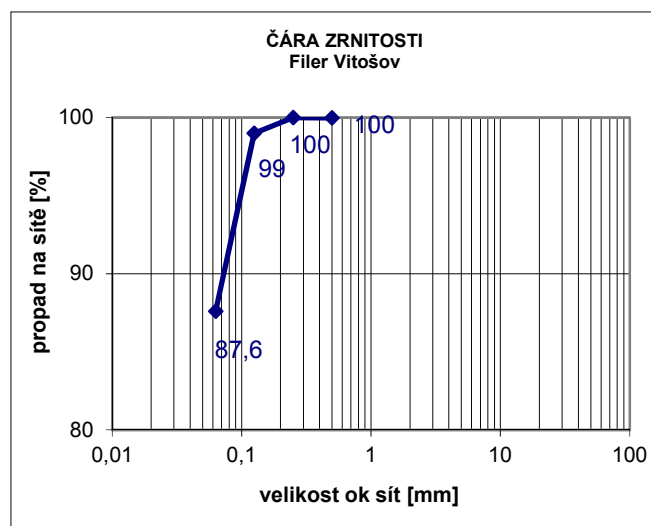
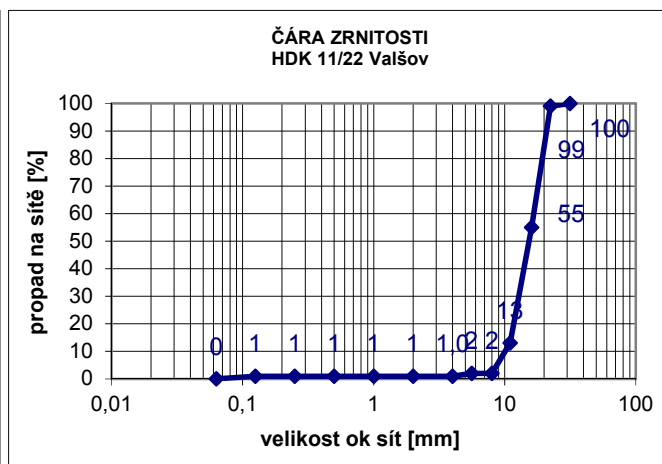
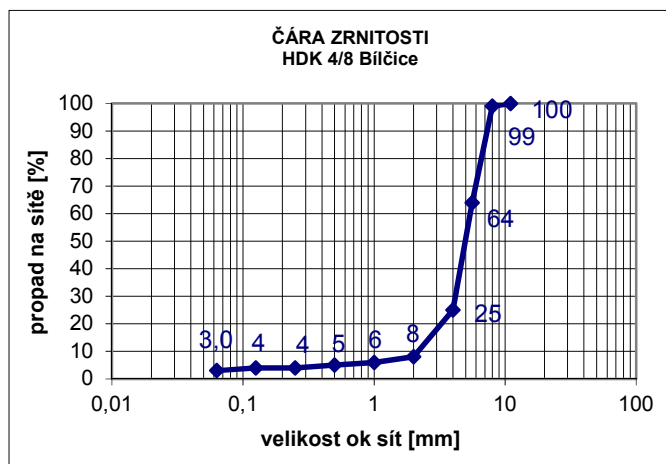
Datum:: 3.3.2015

Podmínky prostředí:

Teplota:.....

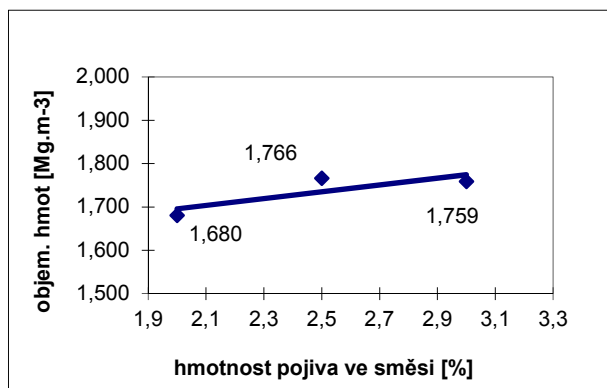
Rel.vlhkost vzduchu:.....

Čáry zrnitosti jednotlivých použitých frakcí kameniva

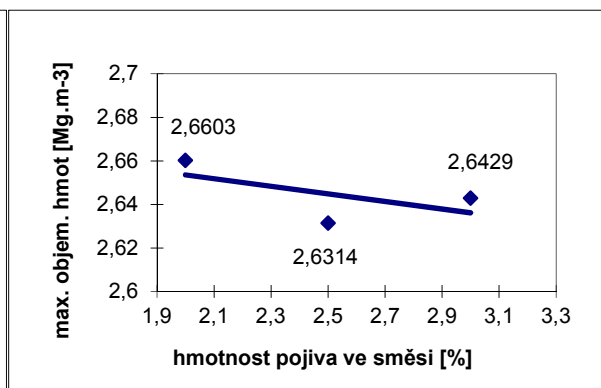


Grafické vyjádření parametrů charakterizujících vlastnosti navrhované asfaltové směsi

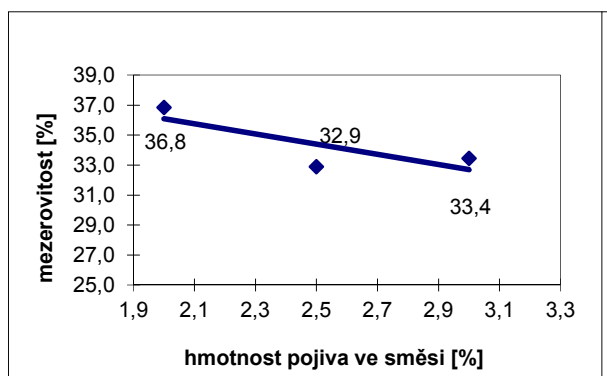
Závislost objemové hmotnosti na hmotnosti pojiva ve směsi



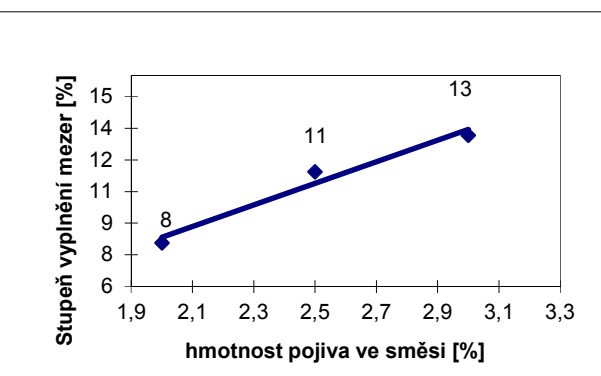
Závislost max.objemové hmotnosti na hmotnosti pojiva ve směsi

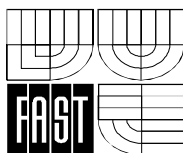


Závislost mezerovitosti směsi na hmotnosti pojiva ve směsi



Závislost stupně vyplnění mezer na hmotnosti pojiva ve směsi





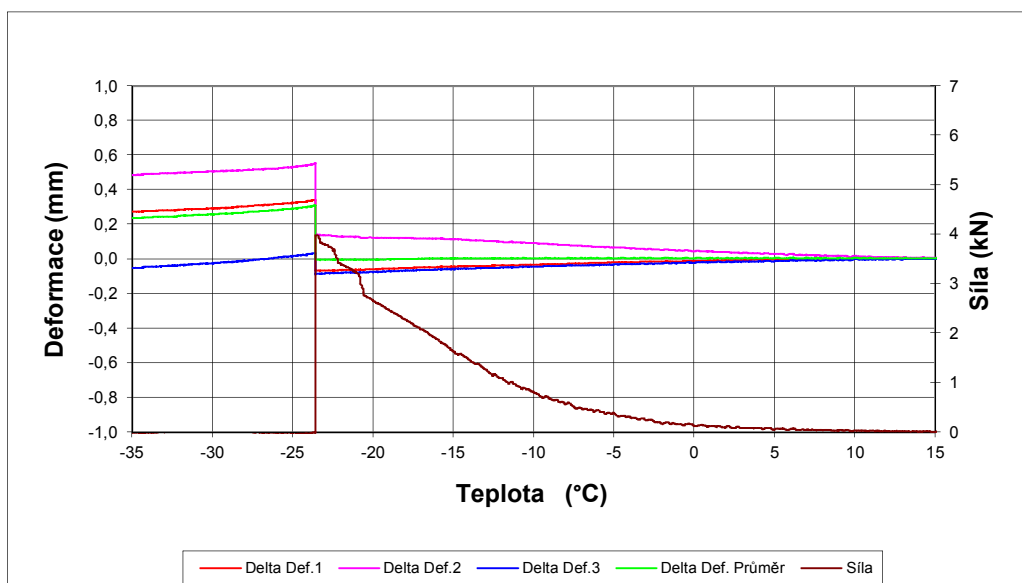
FAKULTA
STAVEBNÍ
Ústav
pozemních
komunikací

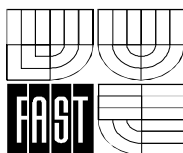
VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

VUT V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací
Veveří 95
662 37 Brno
tel. : (05) 411 473 40
fax. : (05) 745 147
e-mail : kudrna@sil.fce.vutbr.cz

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	Němec DP
Asfaltová směs :	Mofalt 4.1
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 51 x 200
Datum zkoušky :	14.5.2015
Zkoušku provedl :	Němec
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	3,98
Max. napětí při porušení - MPa :	1,56
Teplota v komoře při porušení - °C :	-27,8
Teplota vzorku při porušení - °C :	-23,6





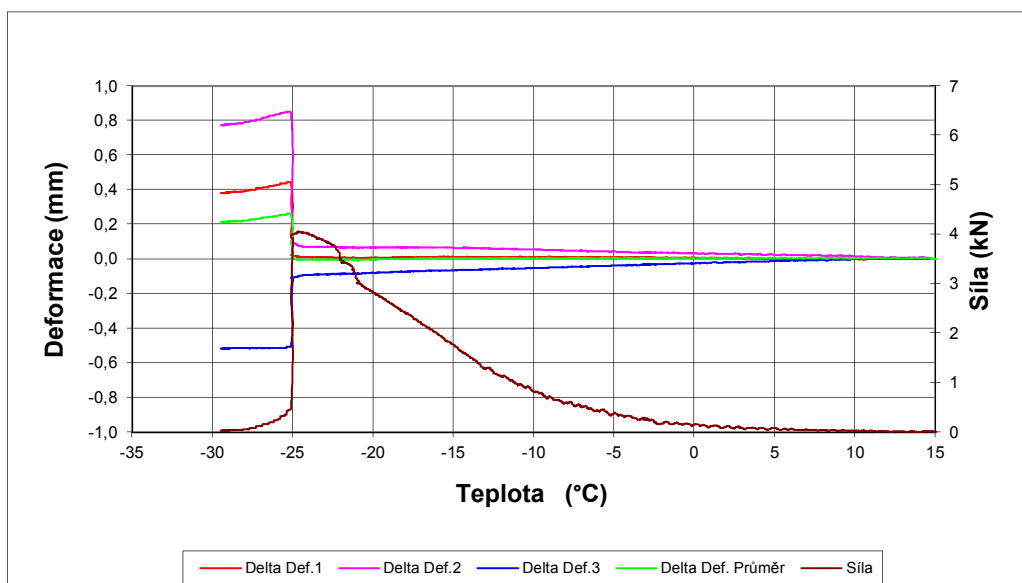
FAKULTA
STAVEBNÍ
Ústav
pozemních
komunikací

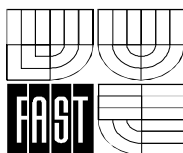
VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

VUT V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací
Veveří 95
662 37 Brno
tel. : (05) 411 473 40
fax. : (05) 745 147
e-mail : kudrna@sil.fce.vutbr.cz

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	Nemec
Asfaltová směs :	Mofalt 4,2
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50.3 x 49.8 x 200
Datum zkoušky :	15.5.2015
Zkoušku provedl :	Nemec
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	4,06
Max. napětí při porušení - MPa :	1,62
Teplota v komoře při porušení - °C :	-28,9
Teplota vzorku při porušení - °C :	-24,7





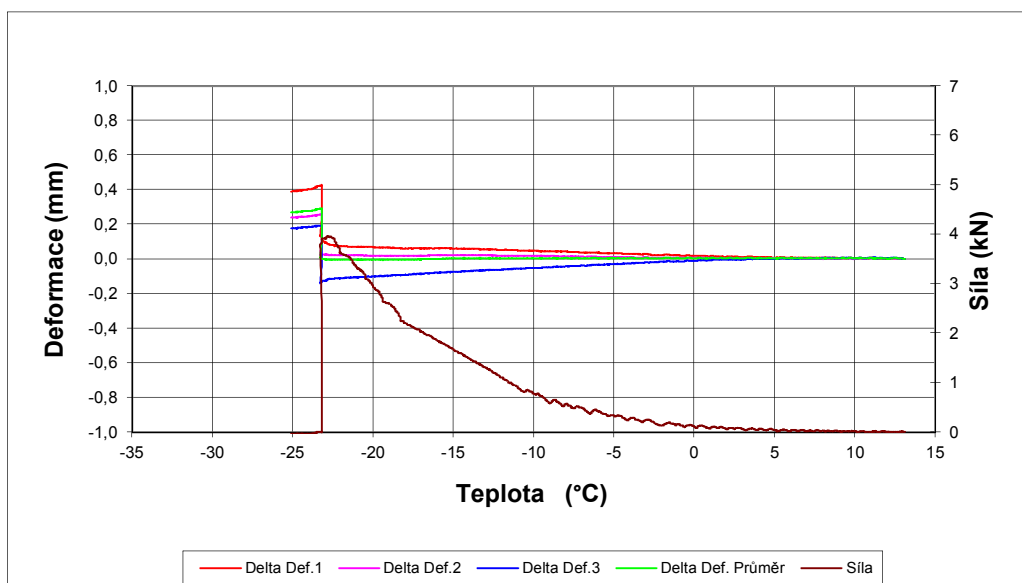
FAKULTA
STAVEBNÍ
Ústav
pozemních
komunikací

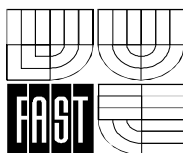
VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

VUT V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací
Veveří 95
662 37 Brno
tel. : (05) 411 473 40
fax. : (05) 745 147
e-mail : kudrna@sil.fce.vutbr.cz

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	Nemec
Asfaltová směs :	Mofalt 4,3
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50.1 x 50.3 x 200
Datum zkoušky :	19.5.2015
Zkoušku provedl :	
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	3,97
Max. napětí při porušení - MPa :	1,57
Teplota v komoře při porušení - °C :	-27,0
Teplota vzorku při porušení - °C :	-22,8





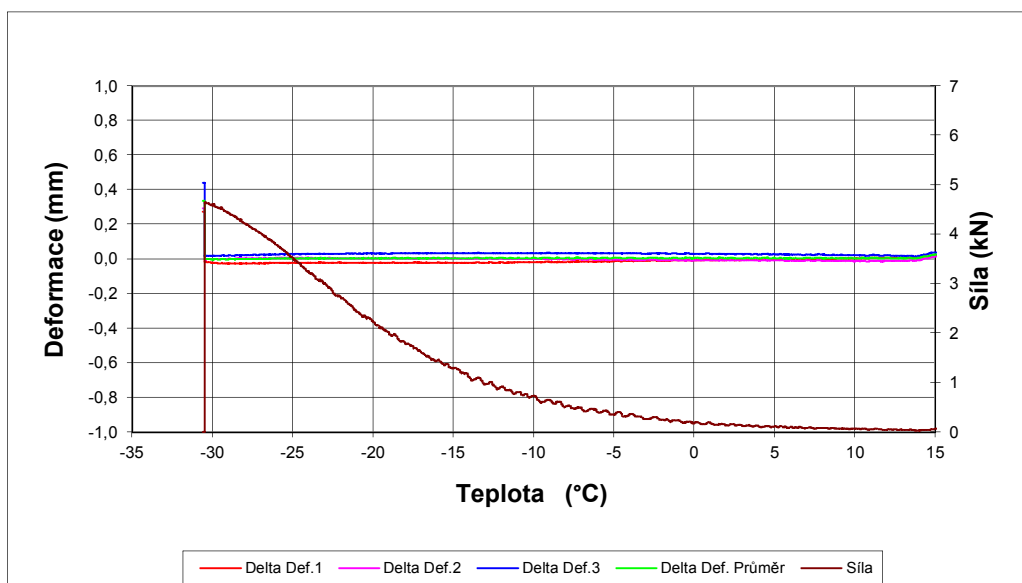
FAKULTA
STAVEBNÍ
Ústav
pozemních
komunikací

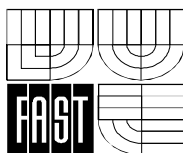
VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

VUT V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací
Veveří 95
662 37 Brno
tel. : (05) 411 473 40
fax. : (05) 745 147
e-mail : kudrna@sil.fce.vutbr.cz

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	Nemec OMV
Asfaltová směs :	OMV 2
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	51.2 x 50.25 x 200
Datum zkoušky :	22.5.2015
Zkoušku provedl :	Nemec
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	4,64
Max. napětí při porušení - MPa :	1,80
Teplota v komoře při porušení - °C :	-34,6
Teplota vzorku při porušení - °C :	-30,5





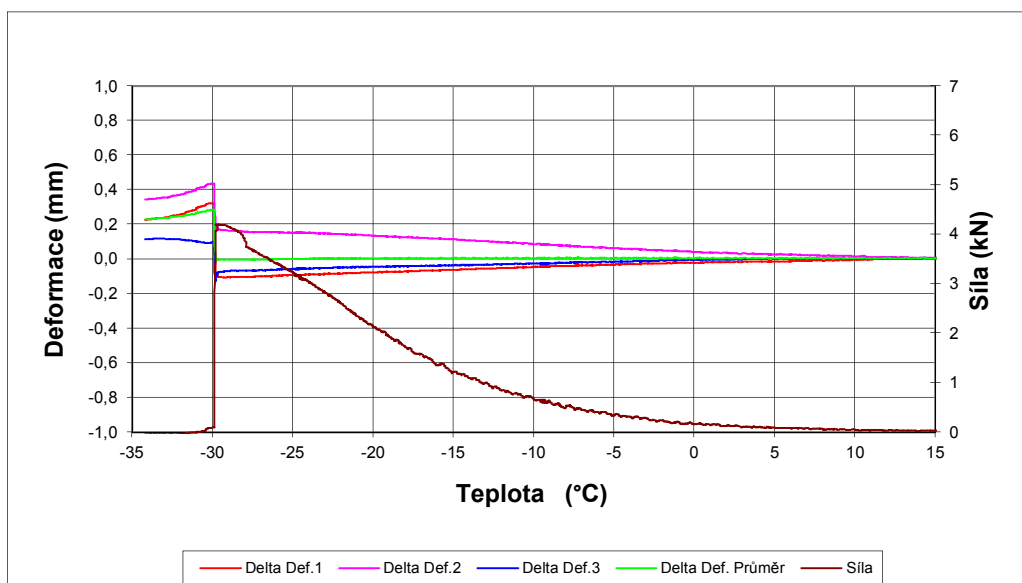
FAKULTA
STAVEBNÍ
Ústav
pozemních
komunikací

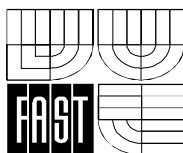
VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

VUT V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací
Veveří 95
662 37 Brno
tel. : (05) 411 473 40
fax. : (05) 745 147
e-mail : kudrna@sil.fce.vutbr.cz

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	Němec DP
Asfaltová směs :	OMV AUL 3
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	26.5.2015
Zkoušku provedl :	Němec
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	4,20
Max. napětí při porušení - MPa :	1,68
Teplota v komoře při porušení - °C :	-33,8
Teplota vzorku při porušení - °C :	-29,8





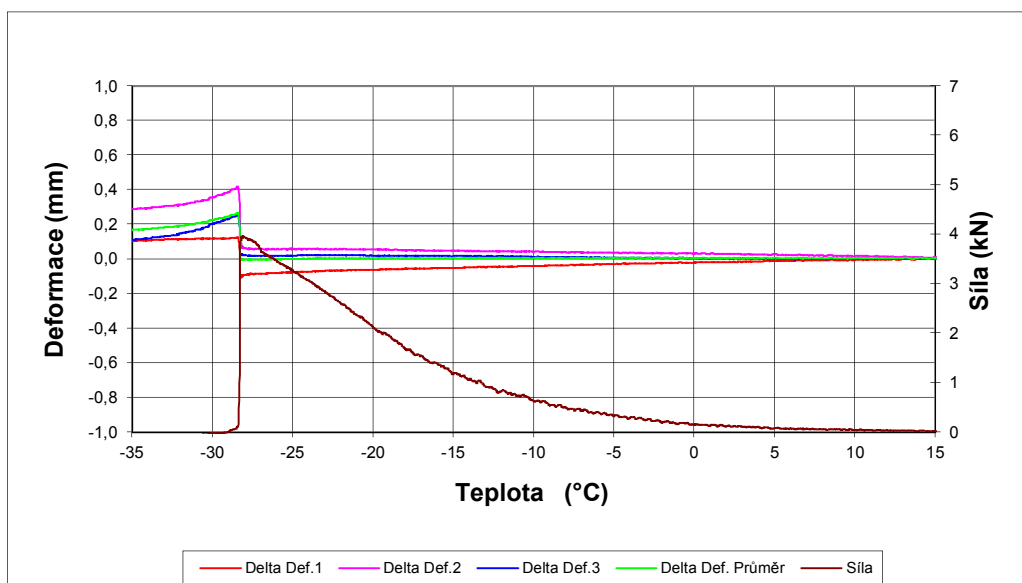
FAKULTA
STAVEBNÍ
Ústav
pozemních
komunikací

VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

VUT V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací
Veveří 95
662 37 Brno
tel. : (05) 411 473 40
fax. : (05) 745 147
e-mail : kudrna@sil.fce.vutbr.cz

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	němec dp
Asfaltová směs :	omvaul 4
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	9.6.2015
Zkoušku provedl :	němec
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	3,96
Max. napětí při porušení - MPa :	1,58
Teplota v komoře při porušení - °C :	-32,4
Teplota vzorku při porušení - °C :	-28,1



Srovnání nízkoteplotních vlastností pro různé druhy asfaltových směsí

Diplomant	Jan Němec		Adam Puda		Vladimír Musil	
Typ směsi	Mofalt	OMV RC	SMA 16 - 9,5% CRmB	AC 16-7,3% CRmB	BBTM 8 11%	BBTM 8 17%
teplota 1. vzorku [°C]	-23,6	-30,5	-23,8	-26,4	-20,6	-20,6
teplota 2. vzorku [°C]	-24,7	-29,8	-23,4	-25,7	-20,9	-21,9
teplota 3. vzorku [°C]	-22,8	-28,1	-22,8	-23,5	-21,3	-22,6
průměrná teplota	-23,7	-29,5	-23,3	-25,2	-20,9	-21,7

Diplomant	Pavel Šperka				Pavel Pěch	
Typ směsi	50/70, 20% R- mat	70/100, 20% R- mat	50/70, 20% R-mat	50/70	PMB 15/80- 65	PMB 45/80-RC
teplota 1. vzorku [°C]	-19,1	-20,9	-21,6	-18,6	-21,2	-23
teplota 2. vzorku [°C]	-20,7	-21,4	-22,5	-18,7	-22	-21,2
teplota 3. vzorku [°C]	-20,6	-19,8	-22,7	-18,4	-23,4	-22,7
průměrná teplota	-20,1	-20,7	-22,3	-18,6	-22,2	-22,3

Diplomant	Martin Kalfeřt			Pavel Kropáč		
Typ směsi	RM+	RMB zavřená	RMB otevřená	ACL 16 9%	ACL 16 7,3%	ACL 16 6,4%
teplota 1. vzorku [°C]	-26,7	-24,5	-22	-20,9	-19,2	-21,9
teplota 2. vzorku [°C]	-27,1	-26,1	-20,5	-21,5	-18,5	-21
průměrná teplota	-26,9	-25,3	-21,3	-21,2	-18,9	-21,5

Příloha č. 8 – zkušební úsek pro obalovaný makadam 0/22

Jako zkušební úsek byla vybrána komunikace II/440 Potštát - Olšovec v úseku km 36,4 až 35,4.

