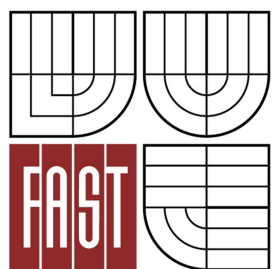




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

NÍZKOHLUČNÉ POVRCHY VOZOVEK LOW - NOISE PAVEMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN MOJŽÍŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR HÝZL, Ph.D.

BRNO 2013



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. MARTIN MOJŽÍŠ
Název	Nízkohlučné povrchy vozovek
Vedoucí diplomové práce	Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	30. 3. 2012
Datum odevzdání diplomové práce	11. 1. 2013
V Brně dne 30. 3. 2012	

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

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

Podklady a literatura

Specifikační normy řady ČSN EN 13108

Zkušební normy pro asfaltové směsi za horka řady ČSN EN 12697

ČSN 736160 Zkoušení asfaltových směsí

ČSN 736121 Hutněné asfaltové vrstvy

Sborníky s konferencí Asfaltové vozovky 2009, 2011

Zásady pro vypracování

Diplomová práce je zaměřena na problematiku nízkohlučných povrchů netuhých vozovek. V úvodní rešeršní části bude proveden přehled možností snižování dopravního hluku. V praktické části práce bude věnována pozornost návrhu nízkohlučné obrusné vrstvy a stanovení jejich vybraných parametrů.

Předepsané přílohy

.....
Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zajímá problematikou nízkohlučných obrusných vrstev vozovek. V teoretické části je popsán hluk, zdroje hluku, nízkohlučné povrchy vozovek a praktická část se zabývá dvěma návrhy nízkohlučného asfaltového koberce mastixového SMA 8 LA

Klíčová slova

diplomová práce, hluk, zdroje hluku, nízkohlučné obrusné vrstvy vozovek, nízkohlučný asfaltový koberec mastixový SMA 8 LA

Abstract

Master's thesis is interested in the problems of low-noise road surfaces. The theoretical part describes noise, sources of noise, the low-noise road surfaces and the practical part describes two proposals of low-noise stone mastic asphalt SMA 8 LA.

Keywords

master's thesis, noise, sources of noise, low-noise road surfaces, low-noise stone mastic asphalt SMA 8 LA

Bibliografická citace VŠKP

MOJŽÍŠ, Martin. *Nízkohlučné povrchy vozovek*. Brno, 2013. 108 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D..

Prohlášení:

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

V Brně dne 10.1.2013

.....
podpis autora

Martin Mojžíš

Tímto bych chtěl vyjádřit poděkování Ing. Petru Hýzlovi, Ph.D., doc. Dr. Ing. Michalovi Varausovi, Pavlu Strakovi a všem zaměstnancům školní laboratoře VUT FAST v Brně za pomoc při zpracování této diplomové práce a dále bych chtěl poděkovat rodičům, příbuzným a přátelům za podporu při studiu.

OBSAH

1	ÚVOD	12
2	PROBLEMATIKA DOPRAVNÍ HLUČNOSTI	13
2.1	Hluk jako faktor životního prostředí.....	13
2.2	Dopravní hluk	13
2.3	Zdroje hluku.....	15
2.3.1	Primární zdroje automobilového hluku.....	15
2.3.2	Sekundární zdroje hluku (zesilující mechanismy).....	17
2.4	Interakce pneumatiky a vozovky.....	19
2.5	Možná řešení snižování hlukové zátěže	20
2.5.1	Urbanisticko-architektonická protihluková opatření	20
2.5.2	Urbanisticko-dopravní protihluková opatření.....	20
2.5.3	Dopravně-organizační protihluková opatření	21
2.5.4	Stavebně-technická protihluková opatření.....	22
3	PROTIHLUKOVÁ ŘEŠENÍ OBRUSNÝCH VRSTEV	24
3.1	Vliv povrchů na dopravní hluk.....	24
3.1.1	Změna hluku pneumatiky.....	24
3.1.2	Vlastnosti vozovek ovlivňující jejich hlučnost.....	25
3.1.3	Textura povrchu	25
3.1.4	Pórovitost	26
3.1.5	Tuhost.....	26
4	NÍZKOHLUČNÉ POVRCHY VOZOVEK	27
4.1	Nátěrové technologie.....	27
4.2	Vymývaný beton.....	27
4.3	Cementobetonový kryt vozovky s výbrusy.....	29
4.4	Texturování cementobetonového krytu vozovky před jeho zatvrdnutím	29
4.5	Drenážní cementový beton	30
4.6	Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy (BBTM).....	31
4.7	Eufonické vozovky	32
4.8	Asfaltové směsi modifikované pryžovým granulátem (CRmB)	33
4.9	Poroelastické povrchy vozovek	34
4.10	Asfaltové koberce drenážní (PA)	34
5	NÍZKOHLUČNÉ ASFALTOVÉ KOBERCE MASTIXOVÉ (SMA LA)	37
5.1	Zkušenosti se SMA LA – stavební práce	37

5.1.1	Provedení.....	39
5.1.2	Zkoušky.....	41
5.2	Aktuální výsledky výzkumu.....	42
5.2.1	Optimalizace složení směsi – výsledky	42
5.2.2	Odhad doby životnosti obrusných vrstev SMA-LA	45
5.3	Shrnutí	47
6	POUŽITÉ MATERIÁLY	50
6.1	Pojivo.....	50
6.1.1	Silně modifikovaný asfalt Colflex.....	50
6.1.2	Modifikační přísada do asfaltu MODICEL.....	50
6.2	Kamenivo.....	51
6.2.1	SMA 8 LA – 1. návrh.....	51
6.2.2	SMA 8 LA – 2. návrh.....	52
7	NÁVRH SMĚSI.....	55
7.1	Návrh směsi SMA 8 LA.....	55
7.1.1	SMA 8 LA – 1. návrh.....	55
7.1.2	SMA 8 LA – 2. návrh.....	56
7.2	Výroba směsi SMA 8 LA	57
7.3	Výroba zkušebních těles.....	59
7.3.1	Marshallova tělesa	59
7.3.2	Marshallova tělesa na zkoušku ITSR.....	60
7.3.3	Desky	61
7.3.4	Komolý klín (trapezoid)	63
8	ZKUŠEBNÍ METODY	64
8.1	ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa - objemová hmotnost podle rozměrů	64
8.1.1	Definice.....	64
8.1.2	Zkušební zařízení a pomůcky.....	64
8.1.3	Postup zkoušky	64
8.1.4	Výpočet objemové hmotnosti podle rozměrů	65
8.2	ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa - nasycený suchý povrch.....	65
8.2.1	Zkušební zařízení a pomůcky.....	65
8.2.2	Postup zkoušky	65
8.2.3	Výpočet objemové hmotnosti – nasycený suchý povrch	66

8.3	ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa - utěsněné zkušební těleso	66
8.3.1	Zkušební zařízení a pomůcky	66
8.3.2	Postup zkoušky	66
8.3.3	Výpočet objemové hmotnosti utěsněného zkušební tělesa	67
8.4	ČSN EN 12697-5 Stanovení maximální objemové hmotnosti	68
8.4.1	Definice	68
8.4.2	Zkušební zařízení a pomůcky	68
8.4.3	Postup zkoušky	68
8.4.4	Výpočet maximální objemové hmotnosti	70
8.5	ČSN EN 12697-8 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí	70
8.5.1	Definice	70
8.5.2	Výpočet mezerovitosti	70
8.6	ČSN EN 12697-12 Stanovení odolnosti zkušební tělesa vůči vodě	71
8.6.1	Popis metod	71
8.6.2	Definice	71
8.6.3	Zkušební zařízení a pomůcky	72
8.6.4	Příprava zkušebních těles	72
8.6.5	Temperování zkušebních těles	72
8.6.6	Postup zkoušky	72
8.6.7	Výpočet pevnosti v příčném tlaku ITS	73
8.6.8	Výpočet odolnosti vůči vodě	73
8.7	ČSN EN 12697-22 Zkouška pojíždění kolem	74
8.7.1	Zkušební zařízení a pomůcky	74
8.7.2	Postup zkoušky	74
8.7.3	Výpočet a vyhodnocení zkoušky	75
8.8	ČSN EN 12697-26 Tuhost	75
8.8.1	Definice	75
8.8.2	Zkušební zařízení a pomůcky	75
8.8.3	Měření komplexního modulu tuhosti	76
8.8.4	Postup zkoušky	76
8.9	Měření akustické pohltivosti	77
8.9.1	Akustická pohltivost	77
8.9.2	Impedanční trubice	77

9	VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK	79
9.1	Vyhodnocení objemové hmotnosti a maximální objemové hmotnosti.....	79
9.1.1	SMA 8 LA – 1. návrh.....	79
9.1.2	SMA 8 LA – 2. Návrh	82
9.2	Vyhodnocení mezerovitosti.....	84
9.2.1	SMA8 8 LA – 1. návrh.....	84
9.2.2	SMA 8 LA – 2. Návrh	84
9.3	Vyhodnocení zkoušky odolnosti vůči vodě (ITSR)	84
9.3.1	SMA 8 LA – 1. Návrh	85
9.3.2	SMA 8 LA – 2. Návrh	87
9.4	Vyhodnocení zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím	89
9.4.1	SMA 8 LA – 1. Návrh	89
9.4.2	SMA 8 LA – 2. Návrh	91
9.5	Vyhodnocení zkoušky měření komplexních modulů tuhosti	94
9.5.1	SMA 8 LA – 1. Návrh	94
9.5.2	SMA 8 LA – 2. Návrh	96
9.6	Vyhodnocení měření akustické pohltivosti	99
10	ZÁVĚR	101
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	102
12	SEZNAM TABULEK	104
13	SEZNAM GRAFŮ	106
14	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	107

1 ÚVOD

Intenzity dopravy se neustále zvyšují a to má za následek zvýšení hlukové zátěže. V současné době je snaha o zkvalitnění životního prostředí a to vede k silnému tlaku na snížení hluku v okolí pozemních komunikací zejména v blízkosti sídelních útvarů nebo přímo v intravilánu. Stavba protihlukových stěn či valů má několik nevýhod, jednak je relativně finančně náročná a na druhé straně pak není vždy z hlediska umístění komunikace s okolní zástavbou možná. Z toho vyplývá jako jednodušší varianta navrhovat obrusnou vrstvu, která již sama o sobě svou skladbou zaručí snižování hluku.

Kromě dříve používaných asfaltových koberců drenážních, které tlumí hluk i snižují riziko aquaplaningu, se nabízí různé typy koberců, které mají vyšší mezerovitost. Tyto koberce sice nedosahují tak vysokého útlumu hluku jako v případě asfaltových koberců drenážních, ale naopak jsou méně náročné na provádění a z hlediska následné údržby. Jako jedna z možností se nabízí použít nízkohlučný asfaltový koberec mastixový, který má označení SMA LA (z německého **Lärmarm** = nízkohlučný) a je v poslední době používán hlavně ve Spolkové republice Německo.

Srovnáme-li nízkohlučné asfaltové koberce mastixové s asfaltovými koberci drenážními, výhody mastixových koberců jsou následující:

- méně problematická technologie výroby asfaltové směsi,
- delší strukturní a akustická životnost,
- bezproblémové provádění běžné a zimní údržby,
- odpadající nutnost provádění těsnicí vrstvy ze SAMI membrány. [1]

2 PROBLEMATIKA DOPRAVNÍ HLUČNOSTI

2.1 Hluk jako faktor životního prostředí

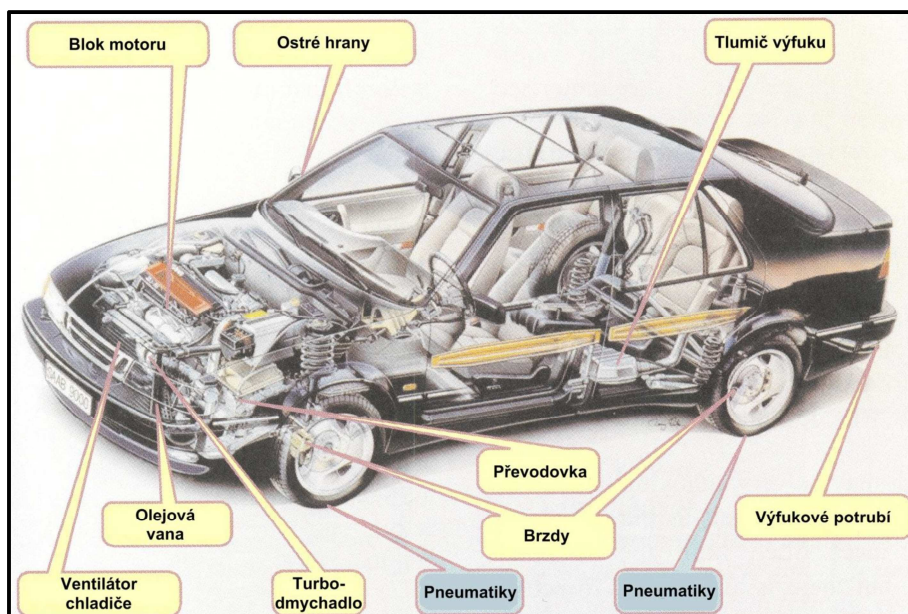
Hluk je nepříznivý faktor, který má nežádoucí vliv na zdraví člověka. Vyvolává nepříjemné a rušivé pocity a může být nebezpečný a škodlivý pro zdraví. Hluk vzniká především lidskou činností. Mezi tyto zdroje hluku lze zařadit hluk od dopravy, průmyslu, zábavy atd. nebo také hluk vzniká z přírodního zdroje jako je proudění vody v tocích, proudění vzduchu, projev fauny apod. Například ve Spolkové republice Německo se u 16 % obyvatelstva eviduje dlouhodobé překračování povolených hladin hluku, které je zdraví škodlivé. Mezní sledovanou hranicí hlukové zátěže byla hodnota 55 dB(A). Hluk vznikající na styku pneumatiky a povrchu vozovky je v tomto případě nezanedbatelnou složkou hlukové zátěže.

Hluk působí na organismus člověka různými vlivy, které závisí na jeho míře a intenzitě. Nepřesáhne-li hladina hluku (L_m) v obytných místnostech ve dne 25 dB(A) a v noci 35 dB(A), nemá hluk vliv na zdraví člověka. Při otevřeném okně se hodnoty zvýší cca o 10 dB(A). Přesáhne-li hladina hluku hodnotu 55 dB(A) ve dne, začínají se u člověka projevovat nežádoucí vlivy na jeho psychickou a sociální pohodu. Dochází k ovlivnění komunikace, která je důležitá při vývoji osobnosti a soužití. Při dalším zvyšování hluku se projevují další zdravotní potíže závislé nejen na intenzitě hluku, ale i na době trvání. Potíže se projevují jako porucha spánku, hypertenze (vysoký krevní tlak), infarkt myokardu, stresy, neurózy, chorobné změny krevního tlaku, poškození sluchu apod.

Z hlediska fyziky lze definovat zvuk jako mechanické vlnění ve frekvenčním rozsahu, který vnímá lidské ucho (frekvence od 20 do 20 000 Hz). Frekvence nižší než 20 Hz se nazývá infrazvuk, vyšší frekvence než 20 000 Hz je ultrazvuk. Zvuk se šíří vzduchem, pevným i kapalným prostředím, ale pouze se nešíří ve vakuu. Lidské ucho je schopno vnímat nejen výšku hluku, ale také jeho intenzitu. [2], [3]

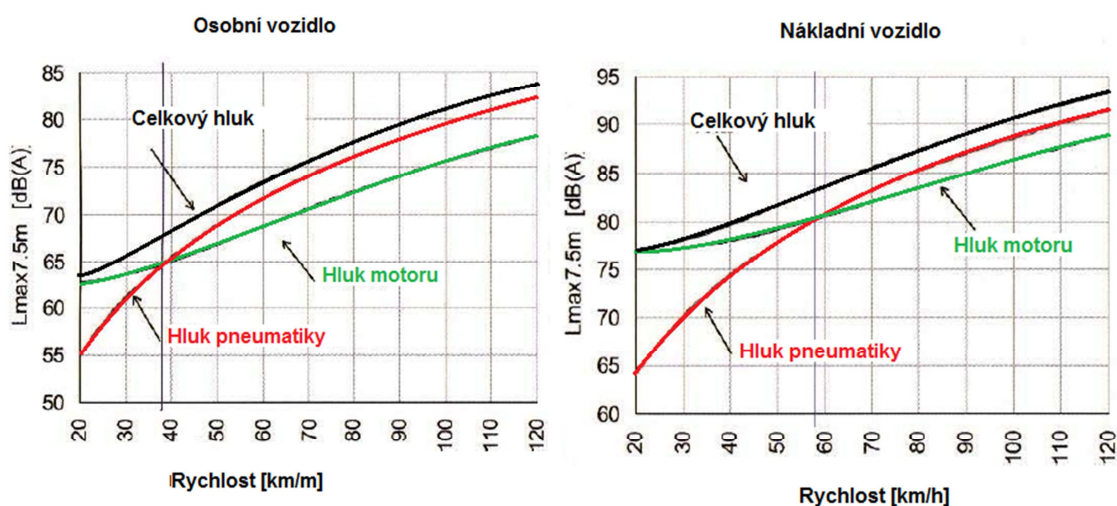
2.2 Dopravní hluk

Dopravní hluk vzniká z automobilové, kolejové a letecké dopravy. Automobilový hluk lze rozdělit na vnitřní a vnější hluk. Vnitřní hluk vzniká od motoru vozidla anebo jízdou vozidla po vozovce a obtěžuje posádku vozidla. Měl by proto splňovat kritéria spojené s nerušenou komunikací osob a komfortem jízdy. Vnější hluk ale obtěžuje obyvatele obce v blízkosti pozemní komunikace (sídlíště, domy v městské zástavbě apod.). Tento hluk podléhá příslušným hygienickým předpisům a normovým podkladům, které stanovují maximální přípustné hodnoty hladiny vnějšího hluku.



Obr. 1 Zdroje automobilového hluku [8]

Mezi hlavní zdroje automobilového hluku můžeme zařadit pneumatiky, motor vozidla, obtékání vzduchu kolem vozidla, hluk vznikající při brždění a samostatnou karosérii. Několika letý vývoj přispěl ke snižování hladiny hluku od motoru vozidla, celé karosérie a pneumatik, které díky uspořádání drážek dezénu jsou schopny snížit valivý odpor při jízdě, a tím snížit hladinu hluku vznikající při kontaktu pneumatiky s vozovkou. Hlavním zdrojem hluku je, cca do 40 km/h, hnací jednotka vozidla u osobních vozidel, u nákladních je to rychlost cca do 65 km/h. Při vyšších rychlostech se začíná projevovat hluk na styku pneumatiky – vozovka. Při rychlostech přesahující 200 km/h převládá aerodynamický hluk. [4], [5]



Graf 1 Vliv rychlosti na hladinu akustického tlaku [5]

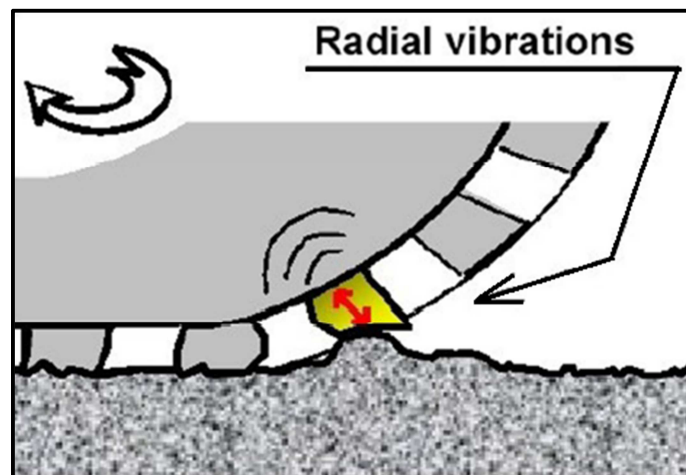
2.3 Zdroje hluku

Mechanismy, které vytvářejí hluk na styku pneumatika – vozovka, můžeme rozdělit do dvou skupin. Primárními zdroji hluku nazýváme mechanismy vytvářející hluk a sekundárními označujeme mechanismy, které sice hluk nevytváří, ale zesilují. [4]

2.3.1 Primární zdroje automobilového hluku

Náraz dezénového bloku

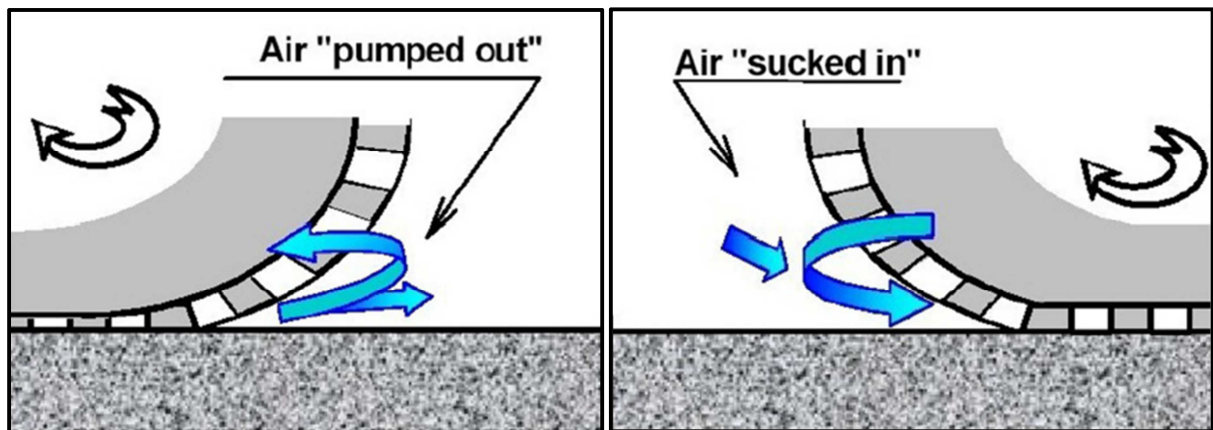
Běhoun pneumatiky je po celém obvodu tvořen vzorkem ve formě lamel a drážek (= dezén). Při pohybu vozidla jednotlivé dezénové bloky narážejí na povrch vozovky v tzv. kontaktní zóně. Tento náraz je podobný úderu gumové paličky. Tím vzniká radiální vibrace pneumatiky. Kdyby byly oba materiály (dezénový blok a povrch vozovky) pružné, pak by se hluková energie výrazně snížila. Pohybující se pneumatika naráží na texturu vozovky, tím se bočnice rozvibrují a vytvářejí hluk o frekvenci 500 – 1 000 Hz. Pomocí vhodné volby textury vozovky můžeme tento jev eliminovat. [4], [6]



Obr. 2 Vibrace způsobené nárazem dezénového bloku [6]

Air pumping – sání vzduchu

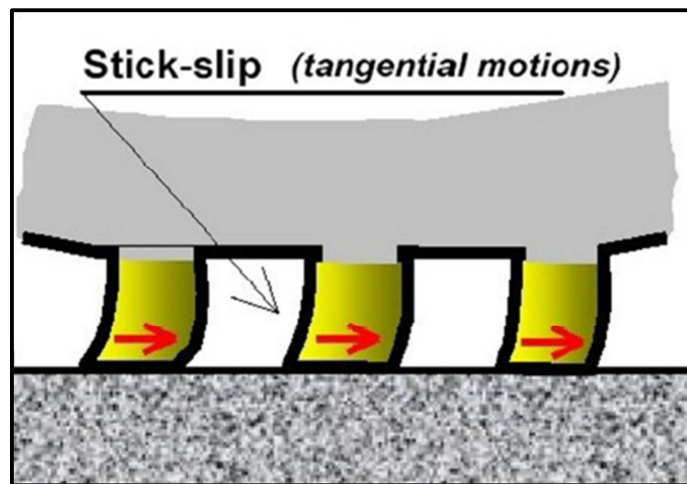
Podobný jev lze pozorovat při tleskání rukou. Drážky mezi dezénovými bloky se postupně na kontaktní zóně stlačují a deformují. Jak se pneumatika otáčí a zvyšuje se tlak, je z těchto drážek vytlačován vzduch. Při dalším pootočení pneumatiky ve směru jízdy se uvolní napětí a na zadní straně kontaktní zóny se do drážky opět nasaje vzduch. Pneumatika opustí kontaktní zónu a prvky běhounu se prudce vrátí do původního stavu. Tento rychlý pohyb, tzv. snap, způsobuje u pneumatiky radiální a tangenciální vibrace. Vzniká hluk závislý na vzorku pneumatiky o frekvenci 1 000 - 2 000 Hz. Snížení hluku lze zajistit použitím „otevřených“ vozovek. [4], [6]



Obr. 3 Sání vzduchu pneumatik [6]

Tření mezi pneumatikou a povrchem

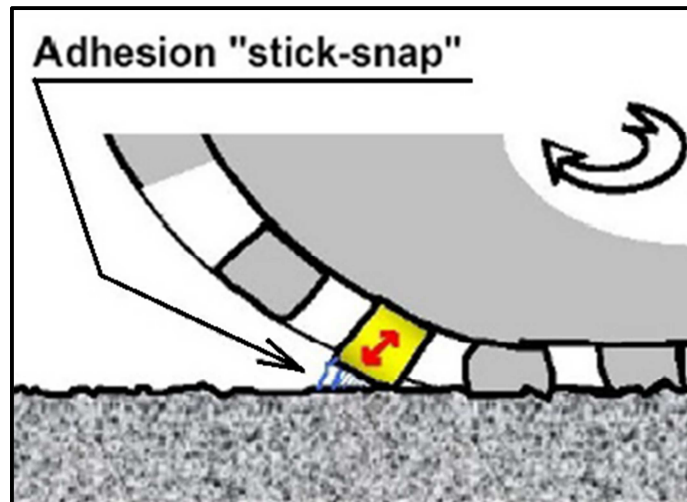
V kontaktní zóně dochází k vyrovnání poloměru zakřivení povrchu pneumatiky a povrch pneumatiky se snaží přizpůsobit makrotextuře krytu vozovky a dochází ke tření mezi oběma povrchy, k tzv. hystereznímu tření. Jak vozidlo zrychluje nebo zpomaluje, tahové síly se přenášejí z pneumatiky do vozovky a tření se zvětšuje. Hluk je podobný pískavému zvuku vznikající při běhání v sálových botách po palubovce. Hluk lze snížit vhodným typem pneumatik. [4], [6]



Obr. 4 Tření pneumatiky [6]

Adheze (Stick-snap)

Přilnavost (adheze) vzniká na kontaktu mezi dezénovým blokem a vozovkou. Pneumatika se chová jako „přísavka“. Dezén je přitlačován k vozovce adhezní silou na kontaktní ploše mezi pneumatikou a vozovkou. Uvolněním bloku dezénu vzniká zvuková energie a vibrace pneumatiky. [4], [6]



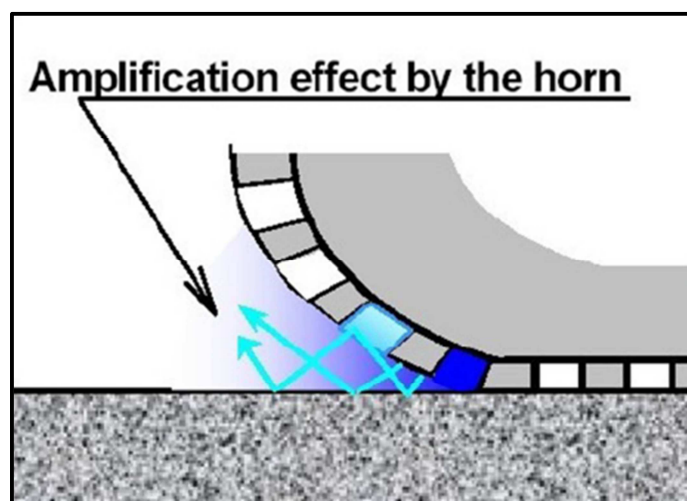
Obr. 5 Adheze mezi dezénem a vozovkou [6]

2.3.2 Sekundární zdroje hluku (zesilující mechanismy)

Malé bloky běhounu jsou malé, nemají vhodný tvar a velikost a ani nevytvářejí velký hluk. I pumpování vzduchu není významný zdroj hluku a k jejich zesílení napomáhají mechanismy zesilování zvuku. [4]

Efekt trubky (Horn effect)

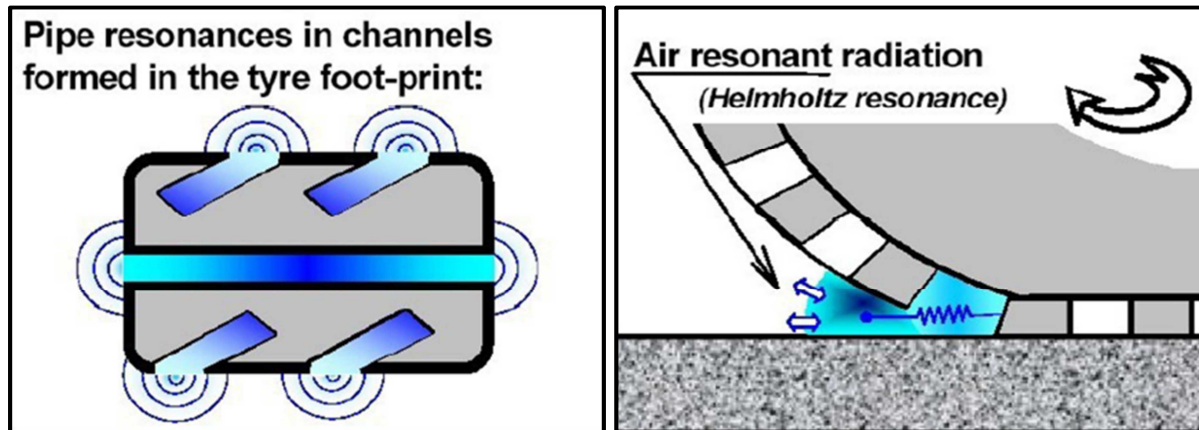
Geometrie pneumatiky nad vozovkou připomíná malý klakson nebo malou trubku. I když tvarem se to těmto hudebním nástrojům neblíží. Zvuk produkovaný různými mechanismy je zesílen právě „trubkovitým – trychtýřovitým“ efektem. [4], [6]



Obr. 6 Efekt trubky [6]

Helmholtzovy rezonátory

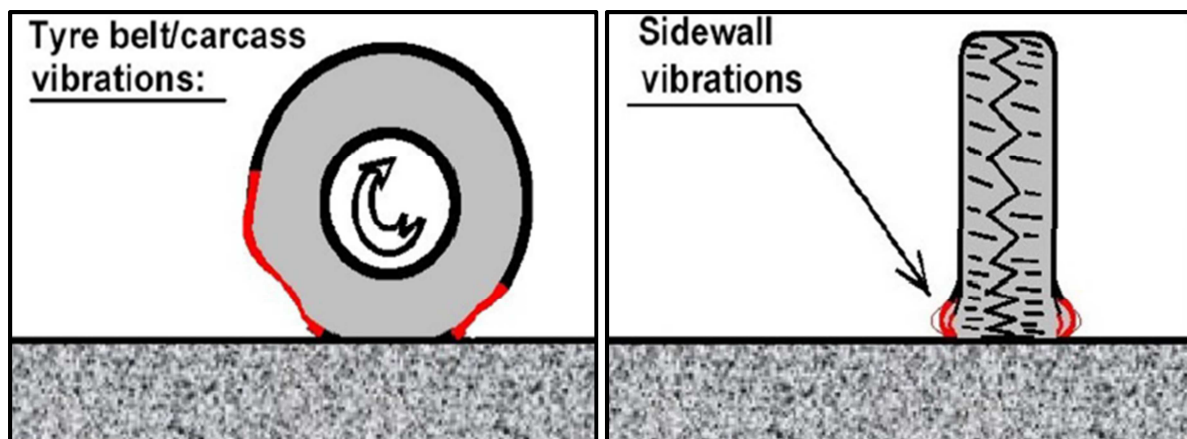
V kontaktní zóně se u bočních drážek dezénu pneumatiky projevuje chování podobné akustickým systémům, které zvyšují hladinu hluku. Podobnost se nabízí u systému rezonance varhanních píšťal a Helmholtzových rezonátorů produkující zvuk podobný pískání na hrdlo lahve. [4], [6]



Obr. 7 Schéma Helmholtzova rezonátoru [6]

Vibrace kostry pneumatiky

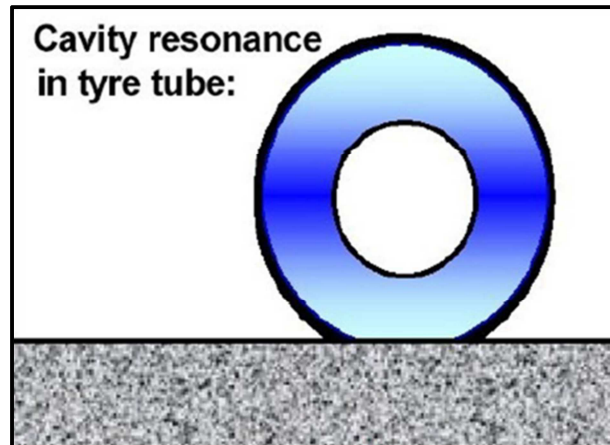
Vibrace, které vzniknou na kontaktu pneumatika – vozovka se zvyšují s působením kostry pneumatiky. V běhounu se šíří vibrační vlny a vydávají hluk, který vychází z kostry pneumatiky. Také bočnice kostry ba kontaktní ploše vibrují a vytvářejí hluk. [4], [6]



Obr. 8 Vibrace kostry pneumatiky [6]

Vnitřní akustická rezonance

Hluk vytváří i vzduch uvnitř pneumatiky, i když tvoří jen výplň. Vzduch uvnitř pneumatiky rezonuje při určitých frekvencích spojených s přirozenou frekvencí toroidní vložky. Odezva vzduchu uvnitř pneumatiky je natolik dostatečná, že jsou rezonance slyšitelné. [4], [6]



Obr. 9 Akustická rezonance uvnitř pneumatiky [6]

2.4 Interakce pneumatiky a vozovky

Jak bylo vysvětleno výše, při otáčení pneumatiky kola po vozovce má z pohledu hluku význam dezén pneumatiky. Z pohledu frekvenčního pásma hluku rozlišujeme dva druhy zvuku – nízkofrekvenční a vysokofrekvenční. Při nízkých frekvencích (500 – 1000 Hz) se projevují vibrace pneumatik. Pneumatika při pohybu naráží na výstupy krytu vozovky, bočnice se rozvíjejí a jsou zdrojem šířeného hluku. Hladinu hluku jsme schopni snížit pomocí rovného a pružného povrchu s malou velikostí kameniva.

Naopak v oblasti vysokých frekvencí (1000 – 2000 Hz) je dominantním zdrojem hluku sání vzduchu „air pumping“. Při pohybu vozidla vpřed dochází k otáčení náprav a tím tedy k vtlačování vzduchu na přední hraně kontaktní plochy. Na zadní straně je vzduch naopak nasáván. Pro redukci tohoto hluku je možné použít vozovky s otevřenou strukturou. [4], [7]

2.5 Možná řešení snižování hlukové zátěže

Dnes existuje řada protihlukových opatření, které se využívají ve větší či menší míře. V České republice se hojně budují protihlukové clony. Je otázkou, zda ve všech případech je takové řešení nejvhodnější a přináší nejlepší efekt. Opatření proti vzniku hluku nebo jeho snižování lze rozdělit na dva způsoby. Jedná se buď o aktivní protihluková opatření (omezení intenzity provozu, technická opatření u vozidel, protihlukové clony, nízkohlučné povrchy vozovek, apod.), která jsou ve většině vyspělých států upřednostňována, nebo se jedná o pasivní opatření. Do druhé kategorie patří veškerá zlepšení a úpravy prováděné na budovách (zesílení prosklení, úprava otvorů apod.). Tato opatření nejsou logicky nejvhodnější řešení, jelikož opatření není řešeno u zdroje hluku, ale u uživatele. Snižování hlukové zátěže ze silniční dopravy lze také rozdělit na:

- urbanisticko-architektonická protihluková opatření,
- urbanisticko-dopravní protihluková opatření,
- dopravně-organizační protihluková opatření,
- stavebně-technická protihluková opatření. [3]

2.5.1 Urbanisticko-architektonická protihluková opatření

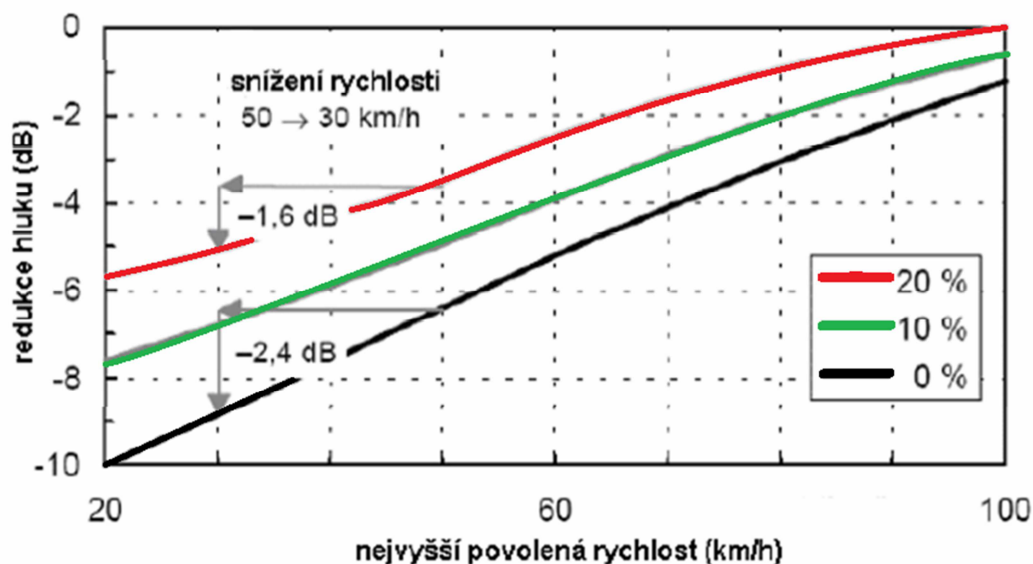
Mezi toto opatření patří např. komplexní řešení obytných souborů z hlediska funkčního uspořádání. Je výhodné využívat blokovou zástavbu. Dále záleží na vhodném rozmístění objektů podle jejich účelu. Objekty nevyžadující protihlukovou ochranu navrhujeme blíže ke komunikaci. Důležité je také dispoziční řešení obytných prostor objektu. Na odvrácenou stranu od komunikace zřídíme ložnice a obývací pokoje. Z hlediska výškové řešení lze využít zvukového stínu vytvářeného budovami a také se zabývat i tvarem budovy a průčelí. [8]

2.5.2 Urbanisticko-dopravní protihluková opatření

Základem opatření je optimalizovat přepravní nároky a rozumně upravit přepravní vztahy. Vyloučit tranzitní dopravu z obytných zón a center obcí. V blízkosti obytných zón také vyloučit těžkou nákladní dopravu. Mimo obytné zóny a areály, požadující vyšší nároky na protihlukovou ochranu, vést rychlostní komunikace. Jednotlivé druhy dopravy soustředit do hlavních tras, kde je možnost vytvoření protihlukové ochrany nebo je vést v dostatečné vzdálenosti od obytných budov. Vytvořit podmínky pro upřednostnění hromadné dopravy. Navrhovat dopravní plochy (např. parkoviště) v dostatečné vzdálenosti od obytných, zdravotních, školních a rekreačních zón. V centrech měst a sídlišť vybudovat klidové zóny, kde bude vyloučena automobilová doprava nebo s časově omezeným vjezdem vozidel pro zásobování. [8]

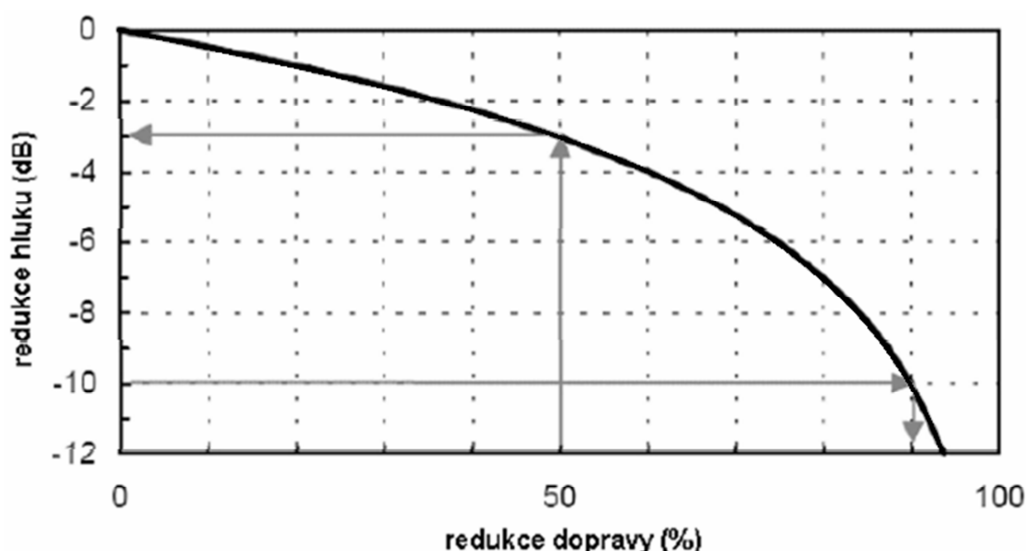
2.5.3 Dopravně-organizační protihluková opatření

Účinným opatřením je omezení rychlosti všech nebo jen nákladních vozidel, viz. Graf 2. Můžeme lokálně omezit rychlost a aplikované metody musí zajistit plynulost dopravy a neagresivní styl jízdy.



Graf 2 Vliv rychlosti na hluk ze silniční dopravy v závislosti na podílu nákladních vozidel [3]

Další možností je redukovat rychlost technickými opatřeními jako jsou příčné prahy nebo zúžení komunikace. V noci je možnost omezit rychlost a snížit intenzitu dopravy zákazem vjezdu nákladních vozidel, zřízením objížděk a určením jednosměrných komunikací.



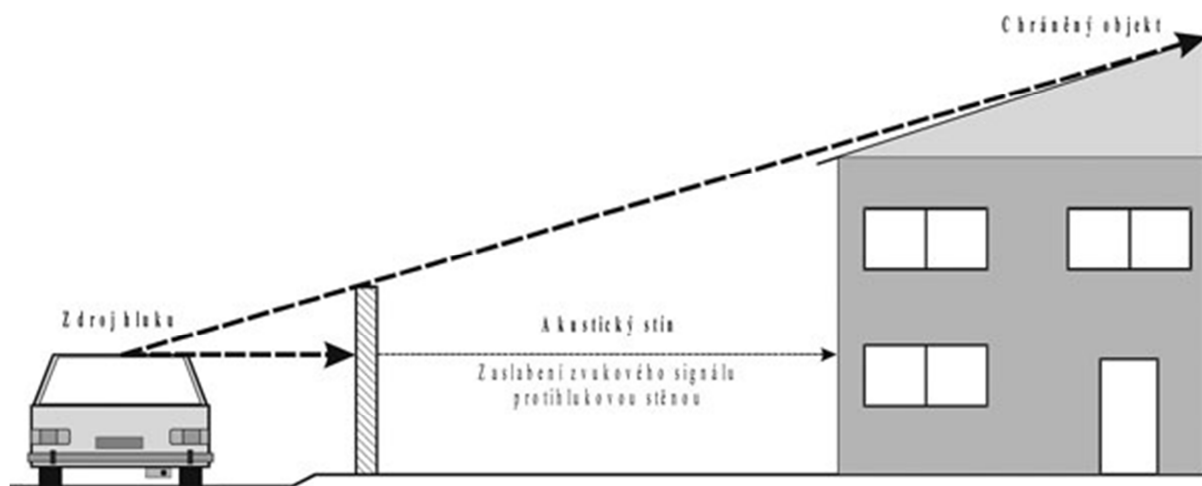
Graf 3 Vliv snížení intenzity dopravy [3]

Snížení dopravy vlivem odklonu dopravy je znázorněn na Grafu 3. Poklesne-li dopravní intenzita na polovinu své hodnoty, přinese to pokles hladiny hluku o 3 dB(A). Snížení dopravy o 90% přináší subjektivní pokles hluku o polovinu, tj. 10 dB. Rychlost a intenzita dopravy spolu souvisejí a sníží-li se intenzita, zvýší se rychlost. Proto nemusí být dosaženo požadovaného přínosu z redukovaného dopravního proudu. Dále je možnost zvýšit plynulost jízdy koordinováním světelně řízených křižovatek s dynamickým cyklem, vypnutím signalizačních zařízení během noci, vyčleněním zvláštního jízdního pruhu pro určité druhy vozidel (např. autobusy) nebo vhodně umístěné zastávky hromadné dopravy a parkovacích ploch. [3]

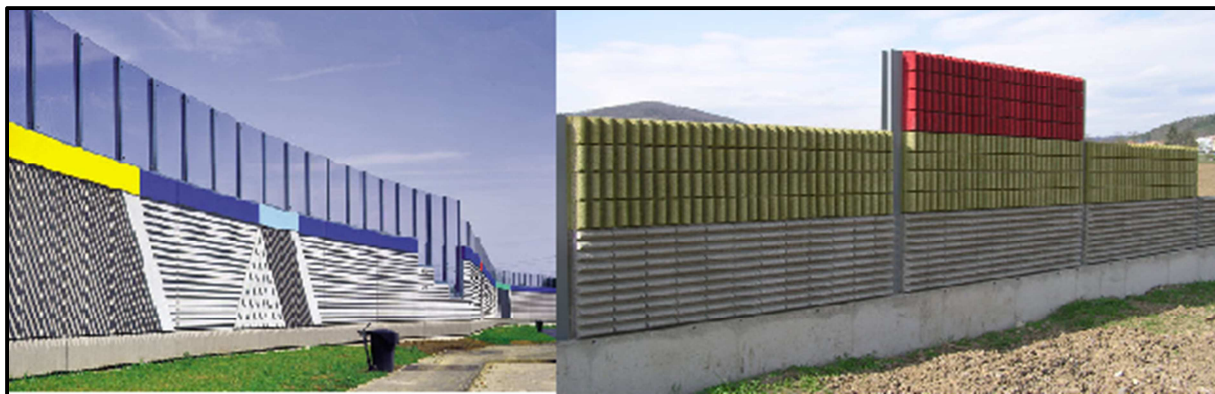
2.5.4 Stavebně-technická protihluková opatření

Zde patří opatření u zdroje hluku, opatření na dráze šíření hluku nebo opatření na budovách. Řešení, která snižují hladinu hluku u zdroje hluku, jsou:

- opatření pro plynulý pohyb vozidel,
- malé podélné sklony komunikací,
- nízkoohlučné povrchy vozovek,
- protihlukové stěny, výsadba zeleně, protihluková okna,
- vedení trasy v zářezu, tunelem, galerií, na mostě, viaduktu či estakádě. [8]



Obr. 10 Princip fungování protihlukových stěn [9]



Obr. 11 Protihluková stěna Liadur – pohltivá vrstva je tvořena lehkým mezerovitým betonem z pórovitého kameniva Liapor; protihluková stěna Prefa Akustik – pohltivá vrstva je tvořena dřevocementovými tvarovkami [9]



Obr. 12 Protihlukový panel DSH; PVC protihlukové stěny HAMPPEP [9]

3 PROTIHLUKOVÁ ŘEŠENÍ OBRUSNÝCH VRSTEV

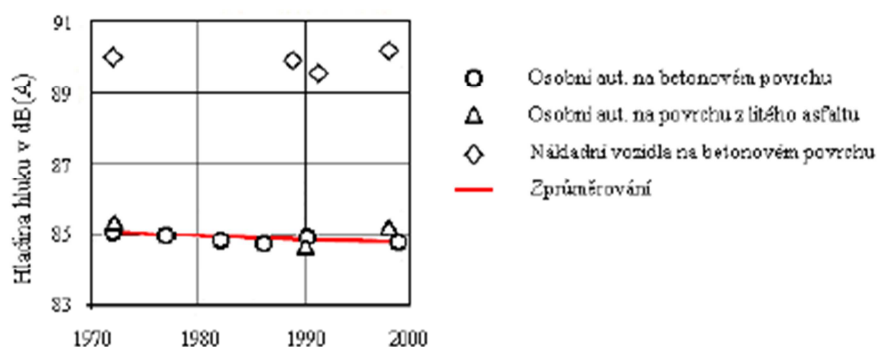
V dnešní době existuje několik technologických postupů jak navrhovat konstrukční vrstvy vozovek, které můžeme označit za nízkohlučné. Rozlišujeme, kde se vozovka bude provádět, jestli v extravilánu nebo v intravilánu. V extravilánu defacto neexistují limitující podmínky. Lze použít prakticky všechny z dosud známých nízkohlučných obrusných vrstev. Omezení nastává v případě místních komunikací díky okrajovým podmínkám dané komunikace (možnosti pokládky, pravděpodobnost pozdějších výkopů nebo překopů v důsledku budoucích oprav nebo provádění nových inženýrských sítí) a také i rozdílnou dopravní situací. U těchto komunikací můžeme uplatnit obrusné vrstvy s upravenou texturou, které jsou odolné proti působení mechanických účinků (tj. upravené asfaltové koberce mastixové nebo tenkovrstvé úpravy). [3]

3.1 Vliv povrchů na dopravní hluk

Dříve znamenalo snižování hluku automobilu hlavně omezit hluk, který vydává hnací jednotka, což se prakticky povedlo. Takže další snižování hluku celého automobilu je zaměřeno na hluk způsobený na styku pneumatika-vozovka. Existují dva způsoby jak tento hluk snížit a to buď eliminovat hluk pneumatiky nebo použít nízkohlučné povrchy vozovek. [5]

3.1.1 Změna hluku pneumatiky

Při vysokých rychlostech převládá v hluku vydávající vozidlo hluk z valení pneumatik. Tento druh hluku závisí na parametrech konstrukce pneumatik (velikost, šířka, typ profilu), ale také na složení a typu povrchu vozovky.



Graf 4 Hladiny hluku osobních a nákladních vozidel na dálničních površích [5]

Na Grafu 4 je znázorněná průměrná hladina hluku z projíždějících osobních a nákladních vozidel, která byla naměřena na betonových krytech a krytech z litého asfaltu. Z toho plyne, že se hluk pneumatik v posledních letech prakticky nezměnil. U osobních vozidel to nepřímo vyplývá z údajů při výrobě pneumatik. Při vývoji jejich profilu již byly brány v potaz poznatky z opatření ke snížení hluku. Proto tedy na základě geometrického utváření běžných ploch pláště pneumatiky je potenciál

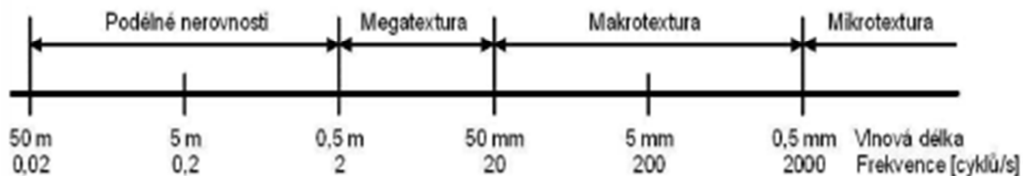
na snížení hluku malý. Je tedy třeba se věnovat návrhu vlastní vozovky, aby se přispělo ke znatelnému snížení hluku. [5]

3.1.2 Vlastnosti vozovek ovlivňující jejich hlučnost

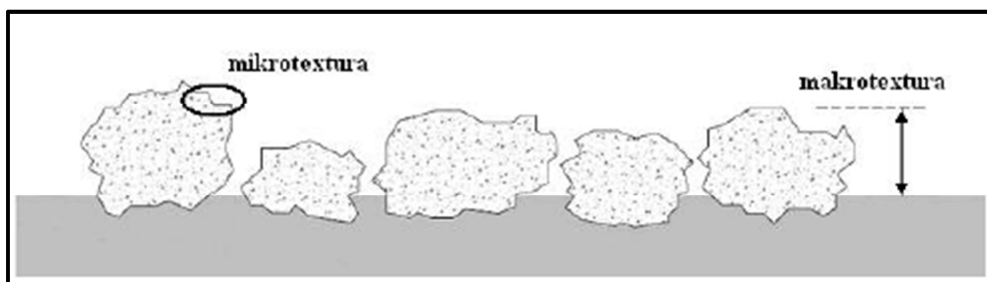
Další možností jak ovlivnit celkový hluk vznikající ze styku pneumatika-vozovka je dána vhodně zvolenými parametry povrchu příslušné komunikace, kterými je možné dosáhnout výrazného snížení hluku než při změnách na pneumatikách. [5]

3.1.3 Textura povrchu

Makrotextura a mikrotextura vozovky má vliv na její protismykové vlastnosti a hlučnost. Rozdělení textury a nerovností povrchu z hlediska délky vlny je znázorněn na Obr. 13 a rozdíl mezi makrotexturou a mikrotexturou na Obr. 14.



Obr. 13 Rozdělení textury a nerovností povrchu vozovky z hlediska délky vlny [5]

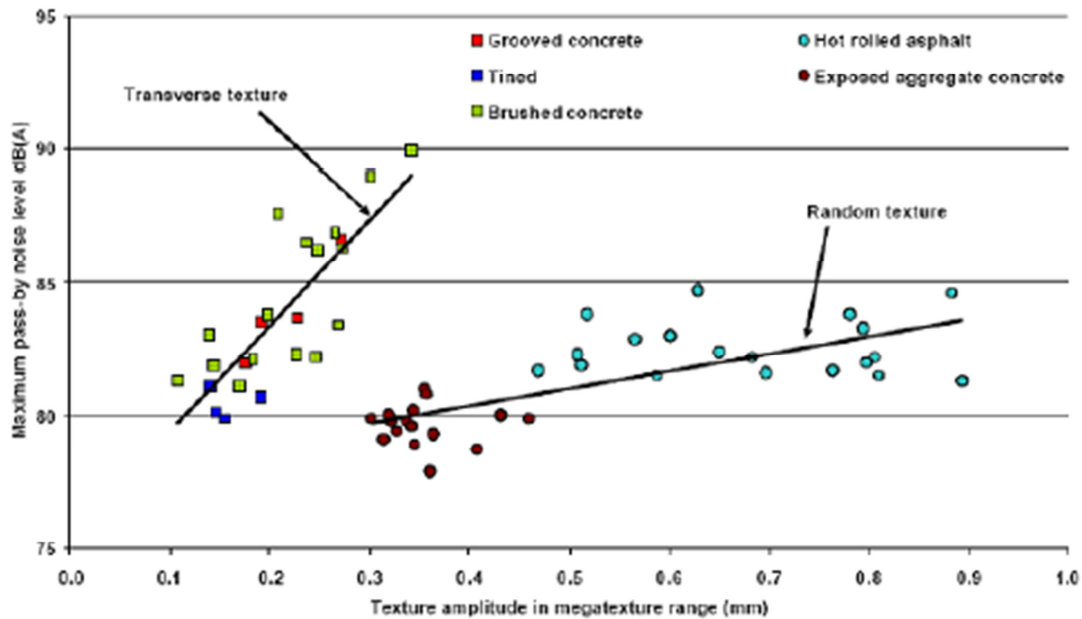


Obr. 14 Rozdíl mezi mikrotexturou a makrotexturou vozovky [5]

Mikrotexturou rozumíme odchylku povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu v rozmezí vlnové délky do 0,5 mm. Je určena velikostí a tvarem výstupku jednotlivých zrn použitého kameniva. Makrotextura je odchylka povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu v rozmezí vlnové délky 0,5 až 50 mm. Makrotexturu tvoří hrubé a jemné frakce použitého kameniva. Megatextura je odchylka povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu v rozmezí vlnové délky 50 až 500 mm. Megatexturu běžně nesledujeme.

Zvýší-li se vlnová délka textury o 0,5-10 mm, hluk se snižuje zejména ve frekvenční oblasti nad 1 kHz a způsobuje, že vzduch uvězněný mezi pneumatikou a vozovkou neuniká tak prudce. Zvýší-li se vlnová délka textury na 10-500 mm, zvýší se hladina hluku zejména v oblasti pod 1 kHz. Čím je délka textury delší, tím intenzivnější budou nárazy bloků běhounu do povrchu vozovky.

Na Grafu 5 je zobrazeno, že náhodná (random) textura povrchu je z akustického hlediska příznivější než podélná (transverse) textura. [5]



Graf 5 Hladiny hluku v závislosti na textuře pro osobní automobil jedoucí rychlostí 90 km/h [5]

3.1.4 Pórovitost

Zvýšení pórovitosti povrchu vozovky má vliv na redukci stlačování a rozpínání vzduchu ve vzorku pneumatiky a tím se omezuje aerodynamický hluk. Pórovitost má také vliv na pohltivost zvukové energie a na snížení „horn efektu“. Jsou zde i další parametry ovlivňující pohltivost zvuku:

- tloušťka pórovité vrstvy – větší tloušťka vrstvy posouvá vlastní frekvenci a její násobky (kde je zvuková pohltivost nejvyšší) směrem k nižším frekvencím
- odpor proti proudění vzduchu – vysoký odpor proti proudění vzduchu zlepšuje rozptýlení zvukové energie, ale příliš vysoký odpor zabraňuje proniknout zvukovým vlnám do svrchní vrstvy vozovky. Optimální odpor závisí na tloušťce vrstvy.
- křivolakost dráhy vzduchu v pórovité vrstvě – vzduch prochází systémem propojených pórů. Čím více bude zakroucená cesta vzduchu, tím nižší bude frekvence maximální absorpce. [5]

3.1.5 Tuhost

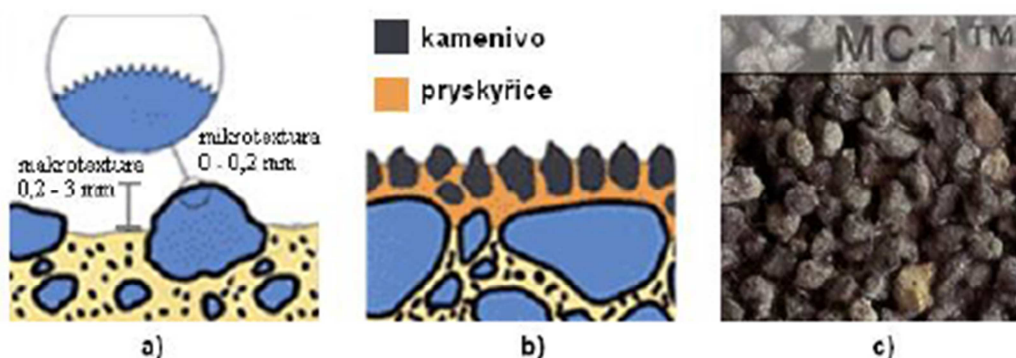
Vlastnost vozovky (též nazývaná mechanická impedance), která má vliv na hluk způsobený nárazy prvků běhounu do vozovky. Snížením tuhosti vozovky se redukuje síla jejich nárazů a tím se také omezují vibrace pneumatiky. [5]

4 NÍZKOHLUČNÉ POVRCHY VOZOVEK

Hluk z valení vznikající na styku pneumatika – vozovka je možné snižovat pomocí nízkohlučných povrchů vozovek.

4.1 Nátěrové technologie

Nátěrové technologie se prováděly hlavně na betonových vozovkách. Původně byly vyvinuty pro využití na letištních drahách. Nátěrové technologie se rozvíjely jako opatření zlepšující protismykové vlastnosti povrchu. Technologii tvoří tenká vrstva asfaltové emulze, speciálního modifikovaného asfaltu či epoxidové pryskyřice s následným podrceným kamenivem vhodné frakce. Výhoda této úpravy spočívá v provedení tenké vrstvy často bez potřeby předešlého frézování povrchu. Z hlediska protismykových vlastností lze u těchto technologií docílit nejlepších hodnot. Z hlediska snižování hluku vede použití kameniva úzké frakce k dílčímu omezení vlivu oscilace pneumatik a ke snížení air-pumping efektu. Tato úprava díky své tloušťce a celkovému principu provedení neplní zásadnější drenážní funkci. [3]



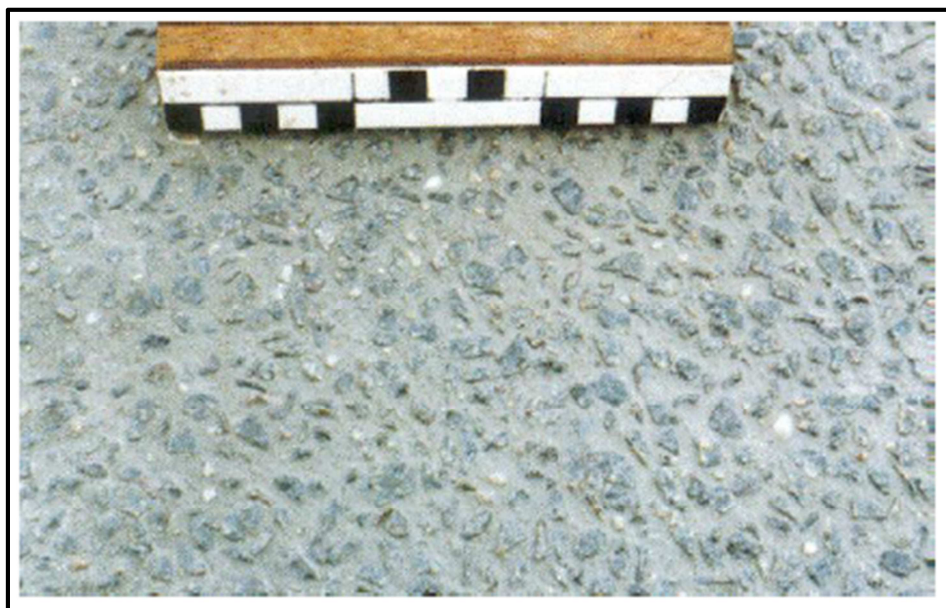
Obr. 15 Systém Italgrip a) povrch bez nátěru, b) povrch s nátěrem, c) fotografie povrchu [5]

4.2 Vymývaný beton

Betonové kryty jsou uzavřené obrusné vrstvy bez výrazné makrotextury. Provede-li se vhodná úprava na povrchu této vrstvy, můžeme tím dosáhnout zlepšení protihlukových vlastností. Nejprve se zlepšovala makrotextura a megatextura využitím hladicích lišt. Lišta urovnává příčné zvlnění, které vzniká za kladečím rámem finišeru. V posledních letech se pro finální úpravy z hlediska podélné textury používalo vlečení zvlhčené juty. I toto technologické opatření přispívá k počátečnímu snížení hladiny hluku. Ale tento efekt se po relativně krátké době vytrácí díky nedostatečné odolnosti proti ohladitelnosti. Proto technologie směřovala k dalšímu vývoji, k vymývanému betonu. Podstata technologie spočívá v tom, že se na čerstvý betonový kryt aplikuje postřík zpomalovače tuhnutí, který působí do hloubky cca 2 mm a současně se překryje celý povrch vhodnou folií, aby se zamezilo nadměrnému odpařování nebo se aplikuje kombinovaný postřík, který zabraňuje odpařování vody z čerstvého betonu a současně zpomaluje hydrataci betonu.

Po zatvrdnutí cementobetonového krytu (přibližně po 24–30 hodinách od pokládky vrstvy) se ochranná fólie odstraní a speciálním kartáčem nebo tlakovou vodou se vytváří struktura vymývaného betonu.

Někdy se z finančního hlediska pokládá ve dvou vrstvách – spodní vrstva navrhnutá pro pevnost, vrchní pro svoji texturu. Kvalitnější kamenivo je tedy jenom použito ve vrchní vrstvě krytu. Z akustického hlediska je hlavním přínosem snížení vlivu oscilace pneumatiky. U této vrstvy lze dosáhnout redukce hluku až o 3 dB(A). [3]



Obr. 16 CB kryt s vymývaným kamenivem. [5]



Obr. 17 CB kryt s vymývaným kamenivem. [10]

4.3 Cementobetonový kryt vozovky s výbrusy

Výbrusy lze použít na stávající betonovou vozovku s nevhodnou megatexturou, která je jinak v dobrém stavu. Paralelní drážky se brousí diamantovými kotouči a hladina hluku se může snížit až o 5 dB(A). Vozovka je schopna snižovat hladinu hluku stejně jako asfaltový povrch.



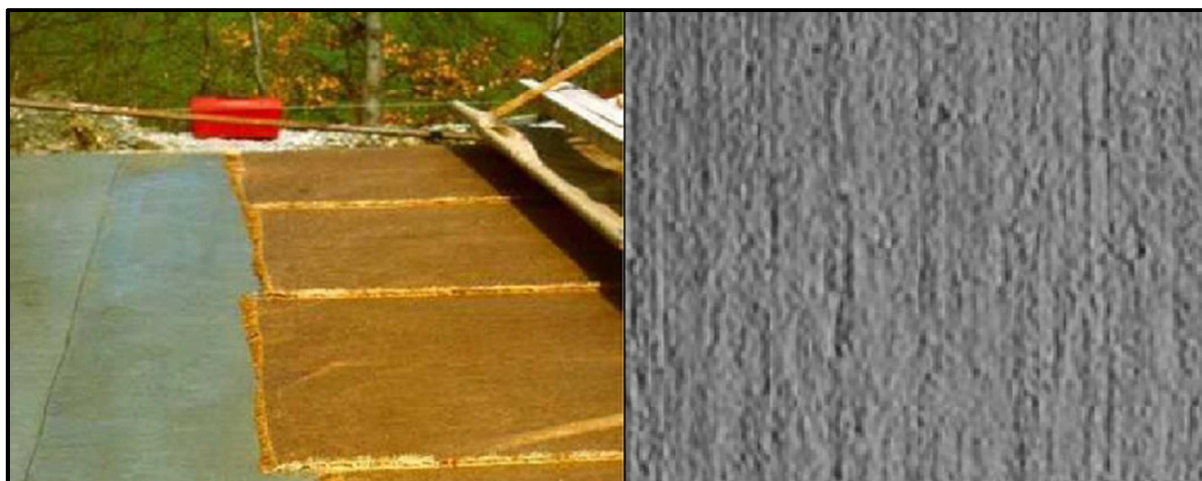
Obr. 18 Cementový kryt s výbrusy [5]

4.4 Texturování cementobetonového krytu vozovky před jeho zatvrdnutím

V nově položeném betonovém krytu se vytváří textura speciálními hráběmi, kartáči nebo vlečenou jutou. Textura je vytvářena podélně nebo příčně, chceme-li dosáhnout vyššího akustického útlumu, je lepší použít taženou jutu než hrábě a také je výhodnější podélné texturování. [5]



Obr. 19 Povrch vozovky texturovaný speciálními hráběmi [8]



Obr. 20 Povrch vozovky texturovaný hrubou tkaninou [8]

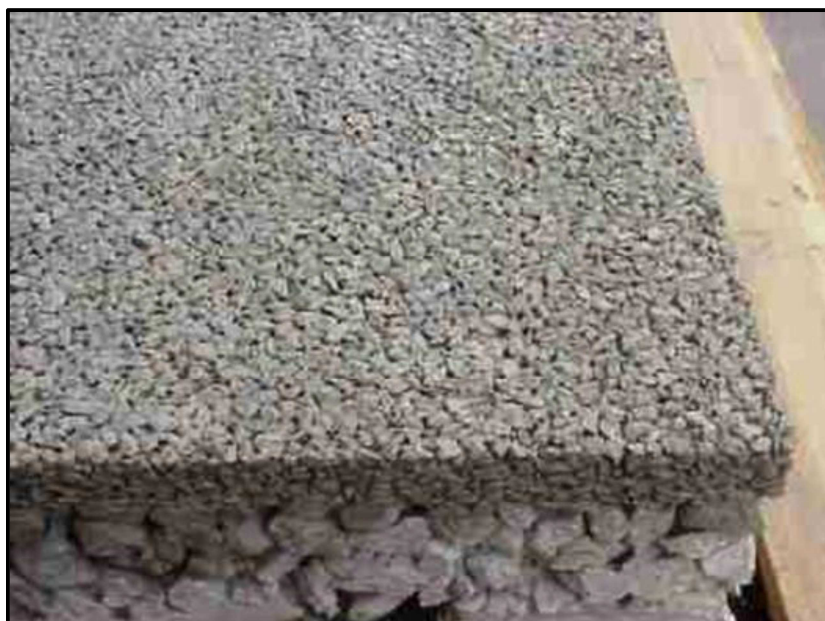


Obr. 21 Kombinace hrubé tkaniny a speciálních hrábí [8]

4.5 Drenážní cementový beton

Tuto technologii zkoušely a položily několik testovacích úseků v USA, Německu, Nizozemí a Francii. Tento typ vozovky je podobný asfaltovému koberci drenážnímu, ale zde je jako pojivo použit cement. Podle některých zdrojů je schopnost této vrstvy snížit hladinu hluku nepatrně lepší než u drenážního koberce. Také není tak náchylný na ucpávání pórů a má i lepší životnost. Nevýhoda tohoto povrchu je jeho vysoká cena, která je způsobena polymerními přísadami v betonu.

Dále byly v Nizozemí vyvinuty prefabrikované panely Modieslab z dvojvrstvého drenážního betonu. Jsou zejména určeny na nestabilní podloží, jelikož jsou samonosné. [5]



Obr. 22 Drenážní cementový beton [5]

4.6 Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy (BBTM)

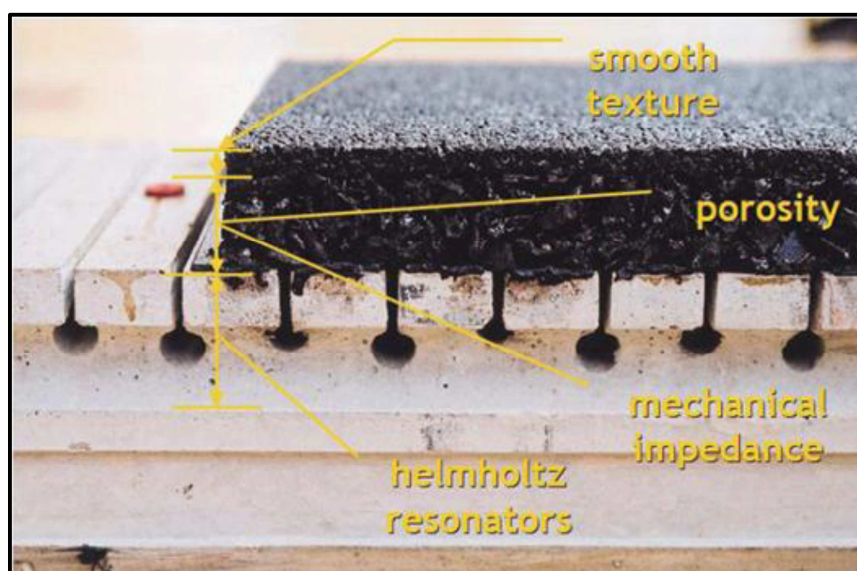
Tato technologie je používána jako úprava s konstrukční tloušťkou do 25 mm. Provádí se pokládkou finišery za horka. V zahraničí se tyto technologie nejčastěji používaly při opravách betonových i asfaltových vozovek. Snaha byla především zlepšit protismykové vlastnosti a uzavřít rozrušený povrch poškozené vozovky. Do těchto tenkých asfaltových koberců se používá kamenivo frakce 0/4 mm nebo 0/8 mm a mezerovitost je do 15%. Koberce jsou z hlediska čáry zrnitosti podobné drenážnímu koberci. Tenké asfaltové koberce jsou používány např. v Rakousku. Tyto úpravy se nerealizují kvůli zlepšení drenážní schopnosti, ale pórovitá struktura umožňuje snižovat air-pumping efekt, jenž nelze očekávat vyšší absorpční schopnost a to kvůli relativně rychle se zanášejícím malým mezerám. Do této skupiny se také řadila v minulosti používaná technologie microdrain, v dnešní době by bylo možné do této skupiny zařadit současné mikrokoberce, které mají obdobný cíl užití, nejedná se však o otevřený typ asfaltového koberce. Prokázaný efekt snížení hlučnosti se pohybuje na úrovni 3 dB(A). [3]



Obr. 23 Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy (BBTM) [5]

4.7 Eufonické vozovky

Povrch vozovky je tvořen dvěma vrstvami. Drenážní vrstva o tloušťce 40-60 mm tvoří horní část vozovky a spodní část je složena z hutného betonu se zabudovanými Helmholtzovými rezonátory. Tento typ vozovky byl vyvinut v 80. letech ve Švédsku a bylo zde vybudováno několik testovacích úseků, jelikož předchozí laboratorní zkoušky měly velmi slibné výsledky. Bohužel praktická realizace nepřesvědčila. Dvouvrstvý asfaltový koberec drenážní položený vedle zkušebních úseků s eufonickou vozovkou vykazoval lepší hodnoty snížení hluku. Dále je tu i nevýhoda vysokých nákladů na výstavbu tohoto typu vozovky. [5]



Obr. 24 Eufonické vozovky [5]

4.8 Asfaltové směsi modifikované pryžovým granulátem (CRmB)

Také nazývaný gumoasfalt je široce užívané označení pro asfalt modifikovaný pryžovým granulátem. Je to asfaltové pojivo, které se skládá ze silničního asfaltu, pryžového granulátu a případně dalších přísad. Tato pojivo se vyrábí ve speciálním míchacím zařízení. Pojivo je v porovnání s ostatními pojivy pružnější, má delší životnost a vyšší odolnost vůči nízkým i vysokým teplotám. Rozeznáváme dva způsoby přidávání pryže do asfaltové směsi. Suchý způsobem se přidává pryž ve formě granulí a představuje 3-6 % z celkové hmotnosti. Při mokřém procesu je pryž přidávána ve formě prášku a představuje 7 % (max. 15 %).

Asfaltové pojivo modifikované pryžovým granulátem příznivě ovlivňuje vlastnosti asfaltového koberce. Zahraniční výzkumy prováděné na gumoasfaltech prokázaly, že u těchto vrstev je možné snížit tloušťku oproti běžně užívaným asfaltovým kobercům a životnost zůstane stejná. Je to dáno tím, že gumoasfalty jsou více odolné proti únavě, stárnutí a trvalým deformacím. Dále bylo zjištěno, že náklady na údržbu a opravu vozovky jsou nižší než u běžných krytů. Další výhodou je také možnost opětovné recyklace. Mezerovité typy směsí oproti obvyklým obrusným vrstvám zdatně snižují hladinu hluku a zabraňují vytváření vodní clony při dešti. Menší nevýhodou těchto asfaltů je jejich energetická a ekologická náročnost, kdy při přidávání granulátu je potřeba míchací zařízení. Tyto směsi jsou také obecně hůře zpracovatelné. Většina ojetých pneumatik po zpracování může využít jako materiálová surovina k další produkci. Vozovky s tímto povrchem budou mít i výrazně nižší náklady na údržbu a opravu.

Jako gumoasfalty lze použít všechny typy asfaltových směsí – PA, ACL, SMA, BBTM. [5], [11], [12]



Obr. 25 Asfaltová směs modifikovaná pryžovým granulátem, ul. Koliště, Brno [13]

4.9 Poroelastické povrchy vozovek

Tento typ vozovky byl vyvinut ve Švédsku. Pružné obrusné vrstvy obsahující větší množství propojených otevřených pórů (minimálně 20% objemu), které mají schopnost propouštět vodu a vzduch. Pružnost se dosáhne použitím elastického kameniva. Charakteristická směs pro tento typ povrchu je složen z granulí nebo vláken pryže (může se použít recyklát z ojetých pneumatik), někdy lze přidat jemné kamenivo, písek či příměsi, které zlepšují protiskluzové vlastnosti, dále polyuretanové nebo jiné syntetické pryskyřice. Tloušťka těchto povrchů se navrhuje 30-40 mm. Existuje možnost vyrobit i poroelastické povrchy, které se následně přilepí na tvrdý podklad. Poroelastické povrchy dokážou snížit hladinu hluku až od 10-12 dB. Je tu ale několik nevýhod, jako jsou problémy s nedostatečnou soudržností s podkladní vrstvou, náchylnost k poškození sněhovými pluhy, nízká ohnivzdornost, špatné protismykové vlastnosti nebo poměrně vysoká cena díky použití drahých pryskyřic. Poroelastické povrchy jsou tedy stále v experimentálním stádiu. [5]



Obr. 26 Tři typy poroelastického povrchu použitého ve Stockholmu [5]

4.10 Asfaltové koberce drenážní (PA)

Drenážní koberce jsou hutněné asfaltové vrstvy vozovky s vysokou mezerovitostí nad 17 %. Používají se jako obrusné vrstvy silnic a dálnic. Čára zrnitosti kameniva je přerušena, tedy nosnou kostru tvoří kamenivo nejhrubší zastoupené frakce (70 % a více). Je tedy nutné používat kvalitní kamenivo s vysokou odolností na otlukovost, ohladitelnost a tvarový index kameniva. Do těchto koberců se používá jako pojivo asfalt většinou s přísadkou drcené pryže z ojetých pneumatik nebo modifikovaný asfalt s celulózovými vlákny.

Ve zhutněné směsi jsou vzduchové mezery kvůli vysoké mezerovitosti navzájem propojeny. Vzduch, který se stlačuje při pohybu kola mezi dezénovými bloky

pneumatiky, je schopen uniknout do vrstvy vozovky. Dochází tedy ke snížení hluku ve fázi jeho vzniku. U nově položených vrstev lze dosáhnout snížení hlučnosti o 4-8 dB(A). Vysoká mezerovitost má také vliv na dobré odvedení srážkové vody z povrchu vozovky. Musí se položit podklad tvořený SAMI vrstvou (Stress Absorbing Membrane Interlayer), voda pronikne vlastní směsí na tuto vrstvu a po ní je odváděna na okraj vozovky. Proto je zde také nižší riziko vzniku aquaplaningu, omezení vzniku vodní mlhy za vozidly při dešti a omezení zrcadlení vozovky.

V našich klimatických podmínkách se vyskytují problémy, které velmi omezují použití těchto vrstev. Jedná se především o:

- zimní údržbu vozovek, kdy se nemůže používat inertní posyp – zanáší mezery a zhoršuje funkce drenážních vrstev
- běžnou údržbu vozovek, kdy je třeba dbát na funkci odvodnění těchto vrstev
- časté střídání mrazu a tání během zimního období, kdy může voda ve vrstvě zamrznout a vrstvu poškodit

Je nutné dodržovat pár zásadních pravidel, aby se zajistila správná funkce těchto vrstev:

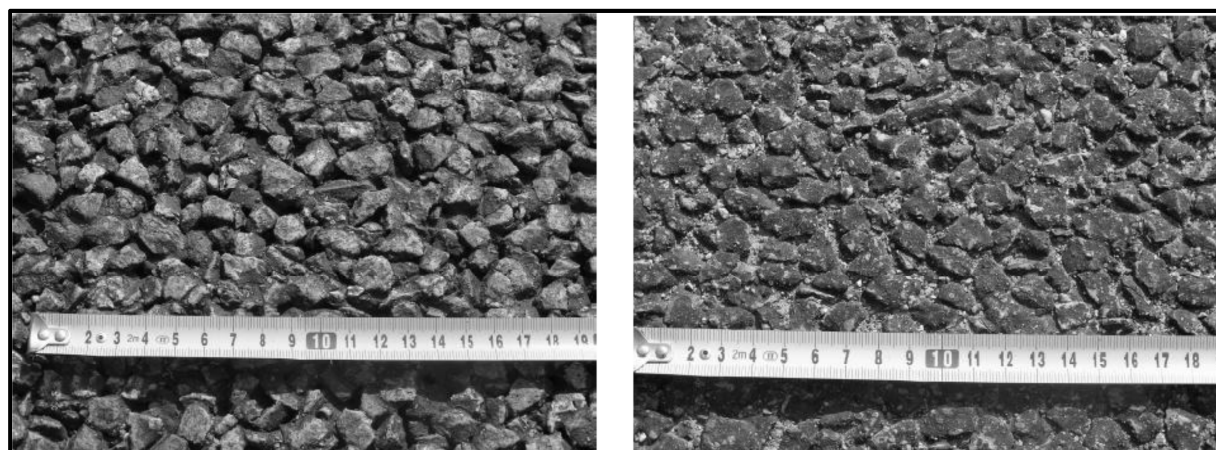
- používat radlice s gumovými břitky při odstraňování sněhu, jinak dochází k vytlamování zrn kameniva z vrstvy
- udržovat krajnice tak, aby jejich výška nepřevyšovala podkladní vrstvy, a tím se zajistí odtok vody
- v intravilánu věnovat pozornost napojení hrany komunikace a přilehlého chodníku

Asfaltové koberce drenážní se pokládají buď jako jednovrstvé nebo dvojevrstvé.

V Evropě se proti problému zanášení krytu nečistotami bojuje výstavbou dvouvrstvého systému porézních krytů. Doporučuje se ale využití těchto krytů pro komunikace, kde je vysoká návrhová rychlost. Při vysoké rychlosti je tendence se samočistit stlačeným vzduchem vznikající od pneumatik (tzv. Pumping effect) a tím se znečišťuje okolí komunikace. Vrchní vrstva u dvojevrstvého asfaltového koberce drenážního slouží jako síto a ochrana nižší vrstvy proti zanesení. Nižší vrstva se navrhuje s vyšší mezerovitostí než u obrusné vrstvy. [14]



Obr. 27 Detail dvouvrstvého asfaltového koberce drenážního [14]



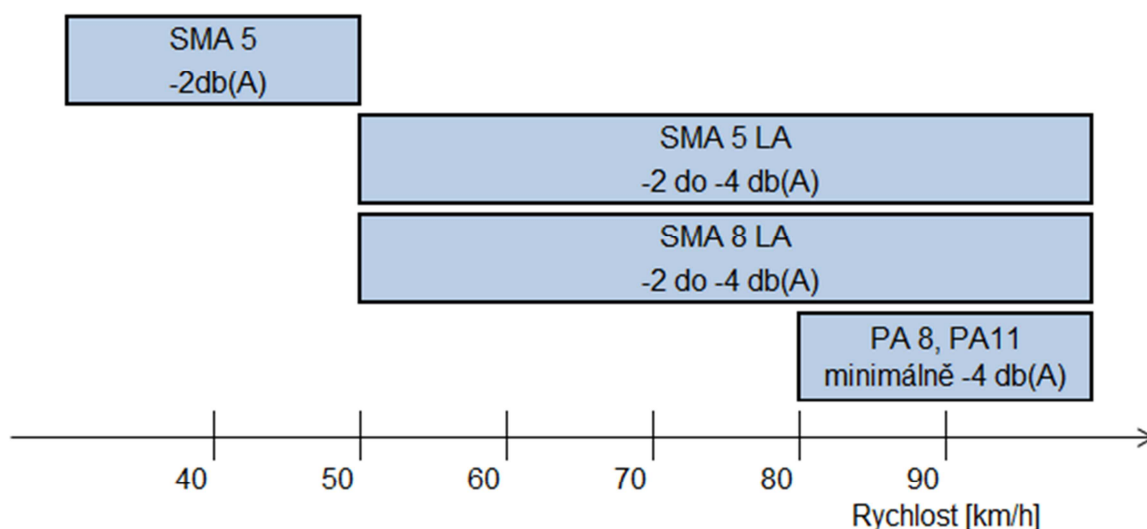
Obr. 28 Detail drenážního koberce (vlevo), detail zaneseného drenážního v řádném stavu koberce [14]

5 NÍZKOHLUČNÉ ASFALTOVÉ KOBERCE MASTIXOVÉ (SMA LA)

Tato kapitola samostatně popisuje problematiku nízkohlučného asfaltového koberce mastixového, jehož návrhem se zabývalo v praktické části práce. Poznatky jsou z německých zkušeností, kde se tímto typem povrchu zabývají od roku 2004.

Vycházelo se ze známých zkušeností o pórovitých asfaltových krytech, které dosahují vysokého útlumu hluku. Cílem bylo dosáhnout snížení hluku o 4 dB(A) při vynaložení nižších nákladů a delší době životnosti než u pórovitých krytů.

Jak bylo řečeno výše, zdroj hluku je závislý na rychlosti vozidla. Proto je nutné při výběru nízkohlučných asfaltových povrchů považovat za nejdůležitější rychlost jízdy. Na Obr. 29 je zobrazen příklad, jaké druhy krycích vrstev mohou být použity při příslušných rychlostech. [15]



Obr. 29 Použití krycích vrstev v závislosti na rychlosti jízdy [15]

5.1 Zkušenosti se SMA LA – stavební práce

V roce 2005 ve Spolkové republice Německo byly postaveny první dvě stavby BAB A93 u Schwandorfu a BAB A3 u Tennenlohe, kde byla použita jako obrusná vrstva směs SMA LA. Cílem bylo dosáhnout u asfaltové směsi mezerovitost 10–15 % a snížení hluku nejméně o 4 dB(A). V průběhu stavby bylo zjištěno, že ložní vrstva z ACL 0/22 S je příliš nehomogenní a má příliš otevřenou strukturu. Tato vrstva byla porušována vodou, která pronikala přes obrusnou vrstvu SMA LA i přes provedení nástřiku asfaltové emulze (600 g/m²). Z toho důvodu se ložní vrstva změnila na ACL 0/16 S.

Na malých místech prvního zkušebního úseku v oblasti BAB A 93 u Schwandorfu byla již v roce 2007 viditelná první poškozená místa ve vozovce SMA 0/8 S-LA (viz. Obr. 30).



Obr. 30 Poškozená místa SMA LA v oblasti BAB A93 u Schwandorfu [15]

Výzkumy provedené neprodleně poté ukázaly, že příčina poškození nespočívala ve SMA LA, nýbrž v ložní vrstvě ACL 0/22. Jak bylo řečeno, do této vrstvy se díky velké mezerovitosti dostávala voda a vrstvu poškodila.

Následné rozhodnutí nepoužívat ložní vrstvu ACL 0/22 S pod vrstvu SMA LA se ukázalo jako správné. Je vhodnější podkladní vrstva s malou mezerovitostí, jelikož vykazuje vysokou stabilitu a je odolná proti deformacím. Od firmy Kemna Bau z Pinnebergu byl převzat koncept mastixové ložní vrstvy. Vzhledem k pozitivním výsledkům výzkumu se v oblasti působnosti Ředitelství dálnic Severního Bavorska od roku 2008 úspěšně používá mastixová ložní vrstva AC 16 B S – typ SMA. [15]

Tab. 1 Vývoj technologie – asfaltová pojivová vrstva + SMA LA od 2005 do 2011 [15]

Rok	2005	2006 / 2007	2008	2008	2009/2010	2011
Typ asfaltové směsi	SMA 0/8 LA	SMA 0/8 LA	SMA 0/8 LA	SMA 0/8 LA	SMA 8 S-LA	SMA 8 LA
Ložní vrstva	ACL 0/22 S	ACL 0/16 S	ACL 0/16 S	Mastixová ložní vrstva 0/16 S	Mastixová ložní vrstva AC 16 B S- typ SMA	Mastixová ložní vrstva AC 16 B S- typ SMA
Druh asfaltové emulze	PmOB U 60K druh C2	PmOB U 60K druh C2	PmOB U 60K druh C2	PmOB U 60K druh C2	C60 BP-1	C60 BP-1
Množství nástřiku	cca. 600 g/m ²	cca. 450 g/m ²	cca. 450 g/m ²	cca. 350 g/m ²	cca. 350 g/m ²	cca. 350 g/m ²

Pro úspěšné provedení SMA LA byly vydány následující pokyny.

5.1.1 Provedení

Provedení zkušebního úseku s obrusnou vrstvou SMA LA by se mělo realizovat i tehdy existují-li zkušenosti s tímto způsobem stavby. Vzhledem k různým místním poměrům a střídání firem, které stavbu provádějí, se osvědčilo:

- stanovení množství dávkování emulze – při použití mastixové ložní vrstvy může být dávkované množství sníženo na cca. 300 – 350 g/m² C60BP1-S.
- složení směsi - především dodržení čáry zrnitosti v oblasti frakce 2/5 mm.
- hutnění – osvědčilo se použití tandemových válců se statickým hutněním (příp. oscilací) s hmotností minimálně 6 t a minimálně se 4 přejezdy. Při použití vibrací vzniká nebezpečí rozdrčení zrn kameniva a tím zjemnění zrn a změny čáry zrnitosti.

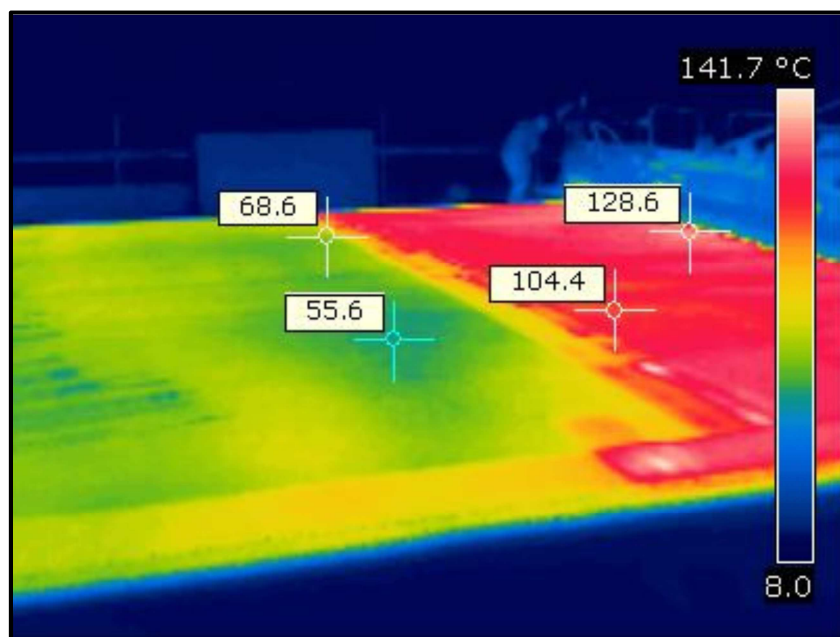
Zkušební úsek musí mít minimální délku od 150 do 200 m a po ukončení kontrolních zkoušek na vrstvě se dostaví. Zkušenosti ukázaly, že rovnost povrchu v oblasti zkušebního úseku neodpovídá, vzhledem k rozdílnému hutnění, požadavkům (nerovnosti ≤ 3 mm). Pokud není možné, vzhledem k místním a časovým okolnostem, zkušební úsek realizovat, měla by se zkontrolovat alespoň směs v míchací soupravě, zjistit složení směsi a dodržení čáry zrnitosti především v oblasti frakce 2/5 mm. Právě překročení oblasti čáry zrnitosti má za následek snížení mezerovitosti SMA LA a nakonec i horší tlumení hladiny hluku.

Při pokládání vrstvy by se mělo zamezit odstávkám finišerů. Mohou vzniknout nerovnosti, které mají negativní účinek na snižování hluku. Kontrolu teploty při pokládání směsi se provádí infračervenou kamerou (viz Obr. 31).



Obr. 31 Teplota povrchu SMA LA na desce finišeru [15]

Příliš nízká teplota směsi na začátku procesu hutnění a delší přestávky finišeru (viz Obr. 32), se zdokumentují v termografické zprávě, takže tyto části trasy se po dobu užívání sledují a shromažďují zkušenosti. Vedle výsledků kontrolních zkoušek slouží tyto záznamy pro hodnocení kvality. [15]



Obr. 32 Teplota krycí vrstvy po zastavení finišeru [15]

5.1.2 Zkoušky

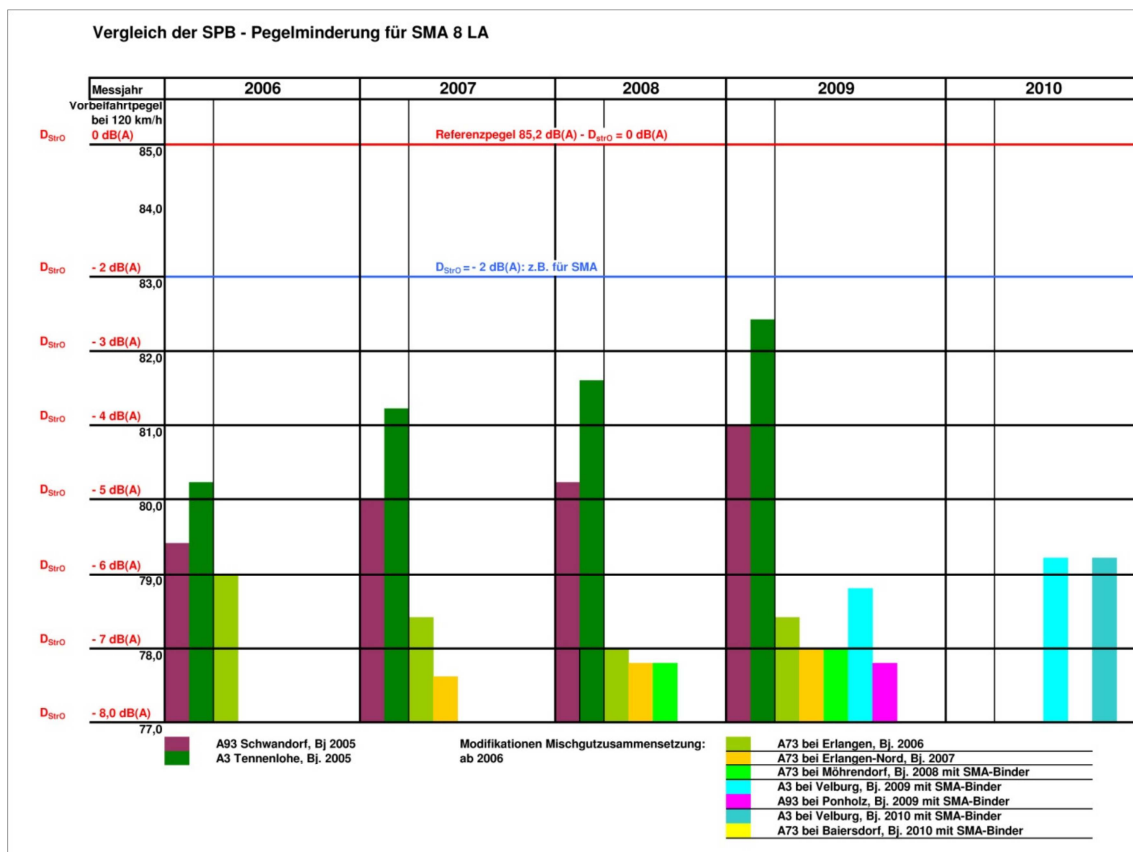
Problémy při stanovení mezerovitosti

Dle známých poznatků o asfaltových betonech, je metoda B určená pro mezerovitosti do 7 %, metoda C pro mezerovitosti v rozmezí 7–10 % a metoda D pak pro mezerovitosti nad 10 %. V Německu se pro směsi SMA LA zvolila pro stanovení mezerovitosti metoda B – vážením ve vodě a na suchu, a to kvůli své jednoduchosti a jednak není takový rozptyl výsledků než u metody D z rozměrů. V německých podkladech je uvedeno, že se požaduje mezerovitost 10-12 %. Zastánci těchto požadavků provádějí stanovení mezerovitosti normovým způsobem, tak že těleso uloží na 30 min. do vody a poté se zváží (hodnota m_2). Po zvážení těleso povrchově osuší a opět zváží (hodnota m_3). Některé laboratoře uvádějí požadovanou mezerovitost 8-10 %. Zastánci tohoto požadavku tvrdí, že předešlý postup stanovení mezerovitosti není přesný a vede k poměrně značnému rozptylu, jelikož voda vnikne do každého tělesa jinak. Upravili tedy metodu tak, že po uložení tělesa ve vodě po dobu 30 min. silněji poklepou tělesem namočeným v lázni o perforovanou podložku ze všech stran tak, aby se odstranilo co nejvíce vzduchových mezer, a poté těleso zváží pod vodou. Po vytažení tělesa z lázně se silným třepáním odstraní z tělesa co nejvíce vody. Tímto způsobem se dosáhne vyšších hodnot objemových hmotností na Marshallových tělesech a tedy nižších mezerovitostí.

Při stanovování mezerovitostí se však narazilo na problém, který přináší určitou nejistotu pro stanovení hodnot metodou B oběma výše uvedenými způsoby. Bylo prováděno několik návrhů a zjistilo se paradoxně u směsi více „otevřených“, tedy s nižším množstvím vápencové moučky a vyšším obsahem frakce 4/8 mm (5/8 mm), že bylo nakonec dosaženo číselně nižších hodnot mezerovitostí, i když vizuálně byly směsi více „otevřené“. Existuje zde logické vysvětlení. Větší množství vody proniká do více „otevřeného“ tělesa, vztlak je tedy nižší a těleso váží ve vodě více než těleso více „uzavřené“, hodnota m_2 je vyšší a z výpočtu $m_1/(m_3 - m_2)$ pak může vycházet vyšší objemová hmotnost a nižší výsledná mezerovitost (samozřejmě záleží též na hodnotě m_3).

Po četných diskuzích se dospělo k názoru, že i přes kritizovanou nepřesnost je stanovení objemové hmotnosti postupem D – z rozměrů reálnější. Pro intravilánové vozovky by se pak dle německých zkušeností se srovnáním metod B a D měla mezerovitost z rozměrů pohybovat cca v rozmezí 14 % až 15 % a pro směsi v extravilánu v rozmezí 15 % až 16 %. Rozdíly v mezerovitostech mezi stanovením metodou B a metodou D jsou poměrně značné. [1]

Akustické zkoušky statistického měření projíždějících vozidel (SPB) a měření hluku valení pneumatik (CPX) pro úseky s obrusnou vrstvou SMA LA byly prováděny v ročních intervalech. Vzhledem k neustálému vývoji této asfaltové směsi daří dosahovat výrazně lepšího snížení hladiny hluku. [15]



Obr. 33 SPB-snižování hluku SMA0/8 S-LA / SMA 8 LA od roku 2005 do 2010 [15]

5.2 Aktuální výsledky výzkumu

5.2.1 Optimalizace složení směsi – výsledky

Za spolupráce Ředitelství dálnic Severního Bavorska a Laboratoře silničního stavitelství TU Drážďany byly provedeny výzkumy, které sledovaly mimo jiné cíl optimalizovat složení směsi SMA 8 LA vzhledem k množství pojiva pro zvýšení životnosti, aniž by přitom byly negativně ovlivněny akusticko-technické vlastnosti.

Snahou přitom bylo použít co největší množství pojiva (minimálně 14 %) a zároveň co největší mezerovitost (minimálně 10 % - objemová hmotnost při postupu B - vážení ve vodě a na suchu) u směsi SMA 8 LA. Bylo zvoleno pět různých variant zrnitostí kameniva (viz Tab. 2). Varianty se uskutečnily za maximálního dodržování platných rozsahů s ohledem na dosavadní zkušenosti. Jako jemná a hrubá frakce kameniva se použil diabaz z kamenolomu Bad Berneck, kamenná moučka byla dodána z Wünschendorfer Dolomitwerk GmbH. Pro výrobu SMA 8 LA se použil modifikovaný asfalt 40/100-65 A.

Tab. 2 Zvolené varianty kameniva [15]

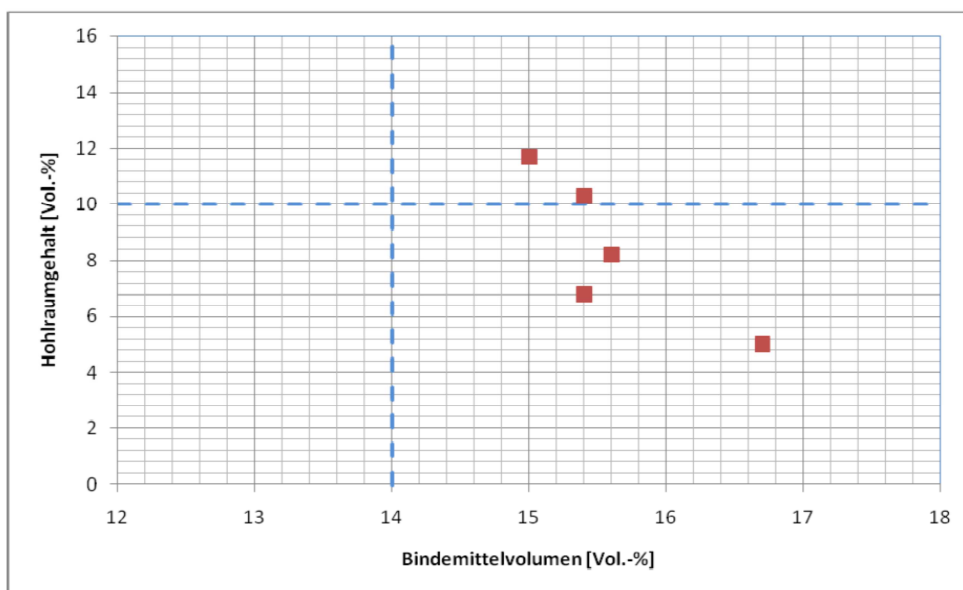
Varianta	< 0,063 mm	0,063 – 2,0 mm	2,0 – 5,6 mm	5,6 – 8,0 mm	8,0 – 11,2 mm
1	7	11	7	70	5
2	7	15	12	61	5
3	7	15	17	56	5
4	9	11	7	68	5
5	9	15	17	54	5

Ze zvolených variant se vyrobila Marshallova tělesa a poté se vypočítaly jejich objemové ukazatele. Objemové hmotnosti byly stanoveny jednak postupem B (vážení ve vodě a na suchu), a také postupem D (objemová hmotnost z rozměrů).

Tab. 3 Výsledky zkoumaných variant [15]

Varianta	Obsah asfaltového pojiva [%]	Mezerovitost směsi kameniva VMA [%]	Mezerovitost (vážení ve vodě a na suchu) V [%]	Mezerovitost z rozměrů V_B [%]
1	6,8	26,7	11,7	15,0
2	6,8	23,8	8,2	15,6
3	6,6	22,1	6,8	15,4
4	6,9	25,8	10,3	15,4
5	7,1	21,7	5,0	16,7

Vzhledem ke zjištěným výsledkům je považována za nejslibnější první varianta s obsahem pojiva 6,8 %. U této varianty byla zjištěna mezerovitost (vážení ve vodě a na suchu) 11,7 % a mezerovitost z rozměrů 15,0 %.



Graf 6 Mezerovitost v závislosti na objemu pojiva [15]

Dále byla zkoušena možná změna zrnitosti kameniva zhutněním pomocí Marshallova hutnícího pěchu u zkušebních těles vyrobených podle varianty 1, při různých počtech úderů. Vyrobila se Marshallova zkušební tělesa úderů 2 x 25, 2 x 50 a 2 x 75 a poté se extrahovala pro stanovení zrnitosti kameniva. Kromě toho byla odebrána nezhutněná směs a jádrové vývrty, které byly odebrány z úseků vyrobených s touto směsí a zkoumány ohledně zrnitosti kameniva. Na závěr se vyhodnotily čáry zrnitosti v závislosti na zhutnění a srovnaly se s výchozí čarou zrnitosti a v závislosti na počtu úderů.

Důležité změny rozvrstvení velikosti zrn se vyskytly především u frakce 2/5 mm a 5/8 mm. Frakce 5/8 mm se s rostoucím počtem úderů drtí a přechází převážně do frakce 2/5 mm. V ostatních oblastech se mění podíl zrnitosti kameniva jen nepatrně. Tato změna čáry zrnitosti byla zjištěna již u malého počtu úderů (2 x 25 úderů), s narůstajícím počtem úderů se však zvyšuje podle očekávání ještě výrazněji (viz Tab. 4). Je zjištěno, že rozdrčená zrna se vyskytují mezi variantami počtu úderů 2 x 25 a 2 x 50.

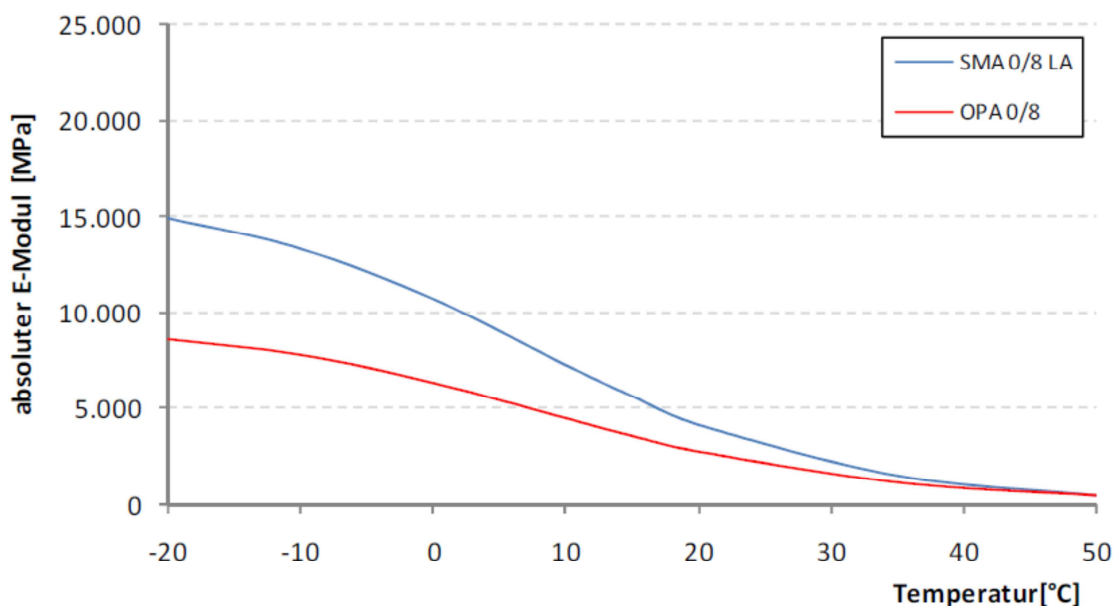
Tab. 4 Změna rozvrstvení velikosti zrn v závislosti na energii zhutnění [15]

Podíl	Směs nezhutněná [%]	Jádrový vývrt z úseku [%]	2 x 25 úderů [%]	2 x 50 úderů [%]	2 x 75 úderů [%]
< 0,063 mm	7,0	7,2	6,9	7,3	7,4
0,063 – 2,0 mm	10,6	11,4	11,3	12,9	13,6
>2,0 mm	82,4	81,4	81,8	79,8	79,0
>5,6 mm	74,1	66,2	68,3	59,6	58,6

Do budoucna by se mělo uvažovat o změně výroby Marshallových zkušebních těles vzhledem k výsledkům změn v čáře zrnitosti v jednotlivých tělesech v závislosti na počtu úderů. To se však musí nejdříve prověřit ještě na dalších zkušebních řadách, protože v rámci pokusu byla zkoumána jen jedna varianta s obsahem pojiva 6,8 %. [15]

5.2.2 Odhad doby životnosti obrusných vrstev SMA-LA

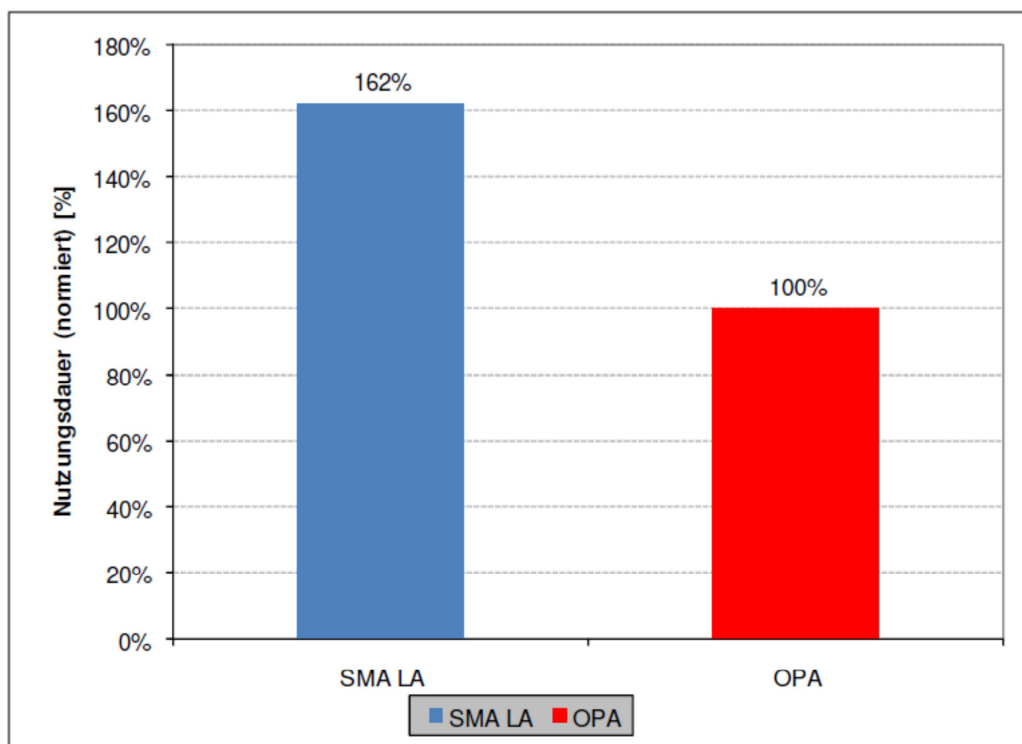
Rozsáhlé výzkumy na odhad doby životnosti prováděla na zakázku Ředitelství dálnic Severního Bavorska. Podle jádrových vývrtů z úseků dálnic byly v laboratoři stanoveny ukazatele materiálu PA 0/8 pro SMA 0/8 LA. Pomocí dimenzačního softwaru se vytvořili základní ukazatelé pro odhad doby životnosti. Společným zkoumáním SMA LA a pórovitých asfaltových vrstev se uskutečnilo srovnávací hodnocení. Z toho důvodu byly vybrány oba zkoumané úseky tak, aby byly přibližně stejně staré a používala se u nich stejná pojiva.



Graf 7 Moduly zkoumaných SMA LA a obrusných vrstev PA (pro $f = 10$ Hz) [15]

Na Grafu 7 jsou uvedeny výsledky zkoušek tuhosti, uvedeny jsou přitom v absolutních hodnotách pro frekvenci od 10 Hz. Při vzájemném porovnání tuhostí vykazuje SMA LA při teplotách mezi -20 a +35 °C výrazně větší tuhost, než PA. Příčina spočívá především v objemu pórů příslušného asfaltu.

Při únavových zkouškách se prokázalo, že SMA LA snese při stejné okamžité deformaci větší zatížení až po tvorbu únavových trhlin, než je tomu u PA. Vlastní odhad doby životnosti probíhal u zkoumaných variant s krycími vrstvami SMA LA příp. PA podle výpočtů dimenzování, výsledky jsou uvedeny v Grafu 8. Jsou zde uvedeny normované doby životnosti.



Graf 8 Normované doby životnosti zkoumaných variant [15]

Je vidět, že u povrchové vrstvy PA byla zjištěna nejmenší doba životnosti (100%). Povrchová vrstva SMA LA vykazuje oproti tomu až 1,6násobnou dobu životnosti. Příčina spočívá v první řadě ve zjištěných tuhostech, které klesají s rostoucí mezerovitostí. Z toho důvodu lze odvodit souvislosti mezi mezerovitostí obrusné vrstvy, mechanickými vlastnostmi a výslednou dobou životnosti. Velký význam je tedy přikládán také stanovení objemu pórů v souvislosti s odolností obrusné vrstvy. [15]

5.3 Shrnutí

V dalším vývoji technologie nízkohlučných vrstev SMA LA stojí v popředí nejen tlumení hluku, nýbrž i životnost. Životností se rozumí, při dostatečně velkém tlumení hluku, také zaručení odolnosti proti deformaci, drsnosti vozovky a nevytváření trhlin, aby se minimalizovaly náklady na údržbu a ušetřily se náklady.

Vyhodnocení výzkumných programů sebou nese aktualizaci požadavků na asfaltovou směs SMA LA. V dubnu 2011 byla změnou teploty hutnění na 145 °C upravena mezerovitost Marshallových zkušebních těles a asfaltové vrstvy (viz Tab. 5).

Tab. 5 Výpis požadavků na SMA LA, stav 04/2011 [15]

Asfaltová směs		
Teplota zhutnění	°C	145 ± 5
Minimální objem pórů	%	V_{min} 9,0
Maximální objem pórů	%	V_{max} 11,0
Stupeň naplnění pórů	%	musí se uvést
Vrstva		
Tloušťka	cm	2,5 (2,0 do 3,0)
Míra zhutnitelnosti	%	≥97
Objem pórů ²⁾	%	9 až 14

Dosud používaný systém mastixové ložní vrstvy + SMA LA se osvědčil, nabízejí se ekonomické výhody, protože:

- nemusí se klást zvýšené požadavky na zrnitost kameniva,
- nejsou nutné zvýšené požadavky na odvodnění,
- nebyly zaznamenány zvýšené náklady při zimní údržbě,
- při rekonstrukci krycí vrstvy se ložní vrstva nesanuje plošně, příp. se nemusí odebírat, což šetří náklady, zkracuje dobu stavby a tím minimalizuje náklady na dopravní uzávěrky,
- mastixová ložní vrstva lze použít jako recyklační materiál.

SMA LA tedy představuje alternativní řešení k drenážnímu koberci, s menšími náklady při výrobě, údržbě a zachování, při snížení hluku o minimálně 4 dB(A) - viz Tab. 6. [15]

Tab. 6 Srovnání PA 8 a SMA 8 LA [15]

Krycí vrstva	PA 8	SMA 8 LA
Snižování hladiny hluku podle RLS 90 D_{StrO}	-5 dB(A)	žádná hodnota D_{StrO} (-2dB(A) jako SMA, předpoklad min. -4 dB(A))
Provedení uvnitř obcí	ne	možné SMA 5 LA
Provedení v oblastech křižovatek, na vjezdech, v odbočovacích pruzích	ne	podmíněně možné
Rychlost vozidel	>60 km/h	žádné zaručené poznatky
Použití po celé šířce vozovky	ano	výhodné
Zvýšené požadavky na odvodnění	ano	ne, jako SMA
Použití ve zkušebním poli	výhodné	ano
Použití homogenizátorů	ano	ano
Plynulá rychlost finišeru	ano	ano
Jednotková cena vůči SMA 8 S	cca. + 100 %	cca. + 10 %
Zvýšené požadavky na zimní údržbu	ano	ne
Okamžité opatření na vyčištění při úniku nafty atd.	ano	ano
Čištění	nutné při znečištění a klesajícím snížení hluku	dosud žádné zkušenosti
Stavebně technická životnost	cca. 8 až 10 let	laboratorní zkoušky: předpokládá se >12 let
Údržbová opatření	po celé šířce vozovky	jsou možná v jízdnicích pruzích
Sanace poškozené vozovky	lze provádět omezeně	lze provádět neomezeně

6 POUŽITÉ MATERIÁLY

V této kapitole jsou uvedeny a popsány veškeré materiály, které byly použity při výrobě obou návrhů směsi nízkohlučného asfaltového koberce mastixového SMA 8 LA.

6.1 Pojivo

6.1.1 Silně modifikovaný asfalt Colflex

Na výrobu pojiva směsi byl použit silně modifikovaný asfalt Colflex, který měl tyto vlastnosti:

penetrace - 65 p.j.

bod měknutí KK – 75,0 °C

6.1.2 Modifikační přísada do asfaltu MODICEL

Modicel je směsná modifikační přísada, která se vyrábí z modifikační přísady Licomont BS 100 a celulozových vláken Scel7 v poměru 40:60. Příklad v sobě spojuje výhodu modifikace i dodání nosiče pojiva v jednom kroku. Vhodné použití je zejména do směsí SMA, ale také do ACL.



Obr. 34 Modicel

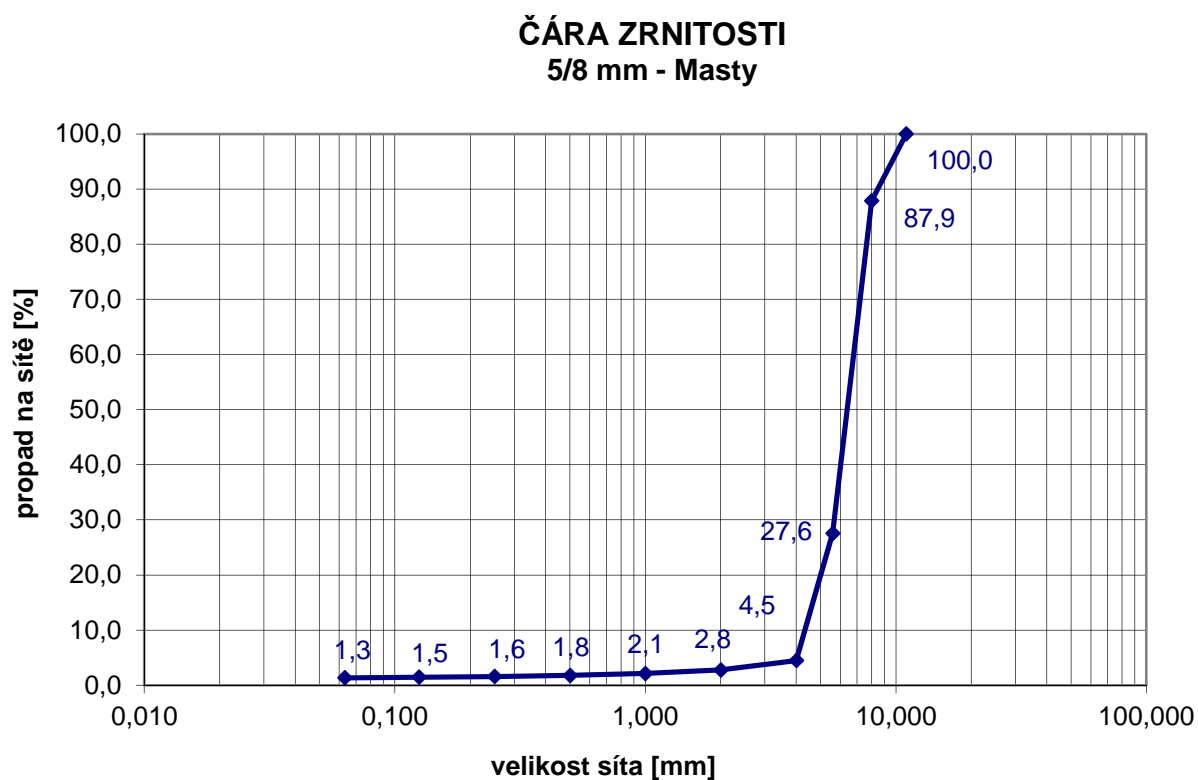
6.2 Kamenivo

6.2.1 SMA 8 LA – 1. návrh

Pro první návrh asfaltové směsi bylo použito kamenivo frakce 5/8 mm z lomu Masty (Bílý Újezd, okres Rychnov nad Kněžnou) a vápencová moučka z lokality Kunčice. V tabulkách jsou uvedeny síťové rozборы a v grafech jsou uvedeny čáry zrnitosti jednotlivých frakcí.

Tab. 7 Síťový rozbor frakce 5/8 mm

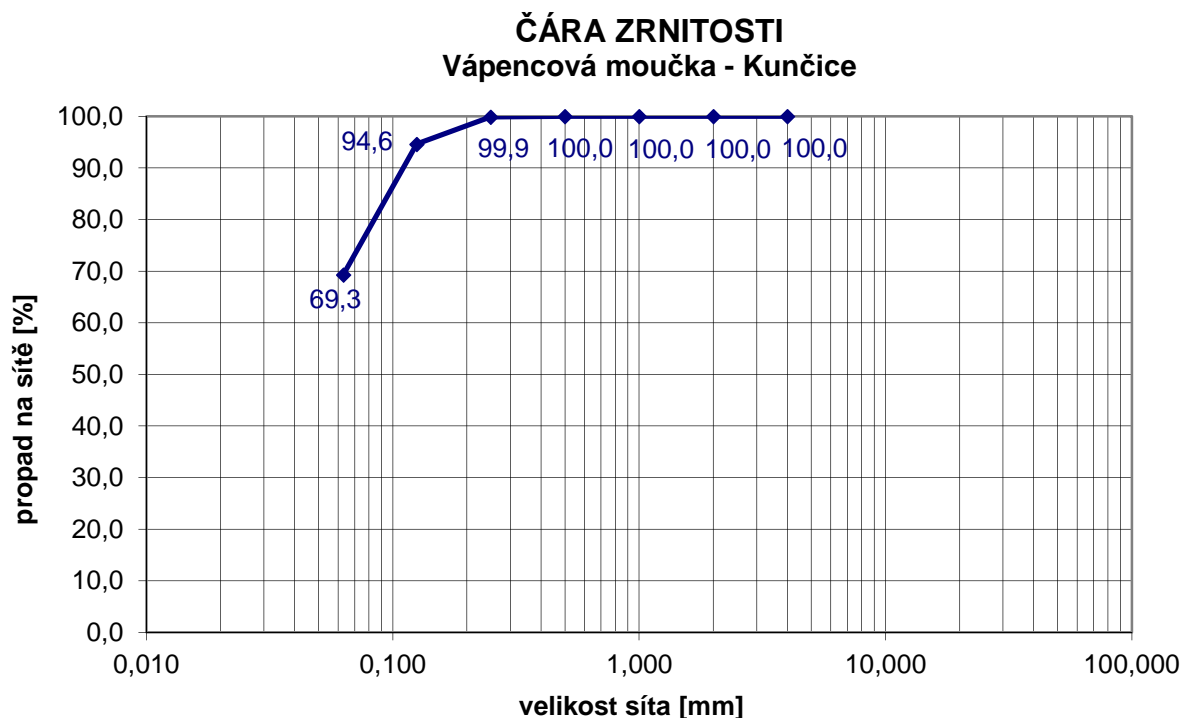
Frakce	Velikost síta [mm]										
	16	11	8	5	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
5/8 mm	100,0	100,0	87,9	27,6	4,5	2,8	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3



Graf 9 Čára zrnitosti frakce 5/8 mm

Tab. 8 Sítový rozbor vápencové moučky

Frakce	Velikost síta [mm]										
	16	11	8	5	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Vápencová moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	94,6	69,3



Graf 10 Čára zrnitosti vápencové moučky

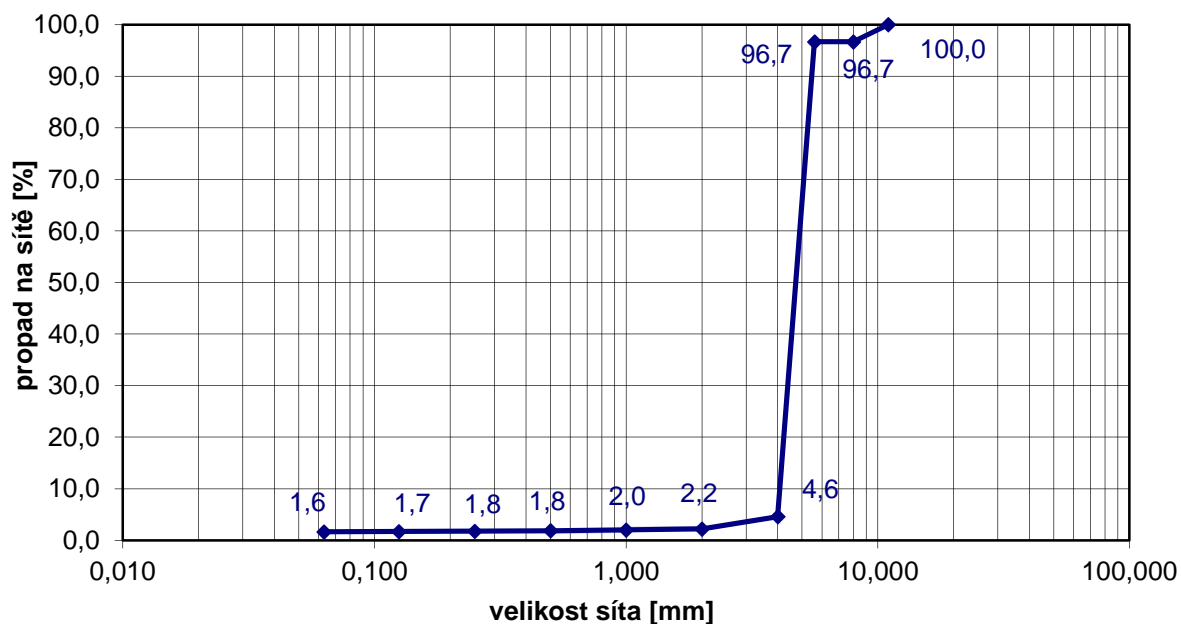
6.2.2 SMA 8 LA – 2. návrh

Pro druhý návrh asfaltové směsi bylo použito kamenivo frakce 0/4 mm z lomu Sloupnu (Chotěboř-Sloupno, okres Havlíčkův Brod) a 4/8 mm z lomu Žumberk (okres Chrudim) a vápencová moučka z lokality Kunčice. V tabulkách jsou uvedeny sítové rozborů a v grafech jsou uvedeny čáry zrnitosti jednotlivých frakcí.

Tab. 9 Sítový rozbor frakce 4/8 mm

Frakce	Velikost síta [mm]										
	16	11	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
4/8 mm	100,0	100,0	96,7	96,7	4,6	2,2	2,0	1,8	1,8	1,7	1,6

ČÁRA ZRNITOSTI Žumberk - 4/8 mm

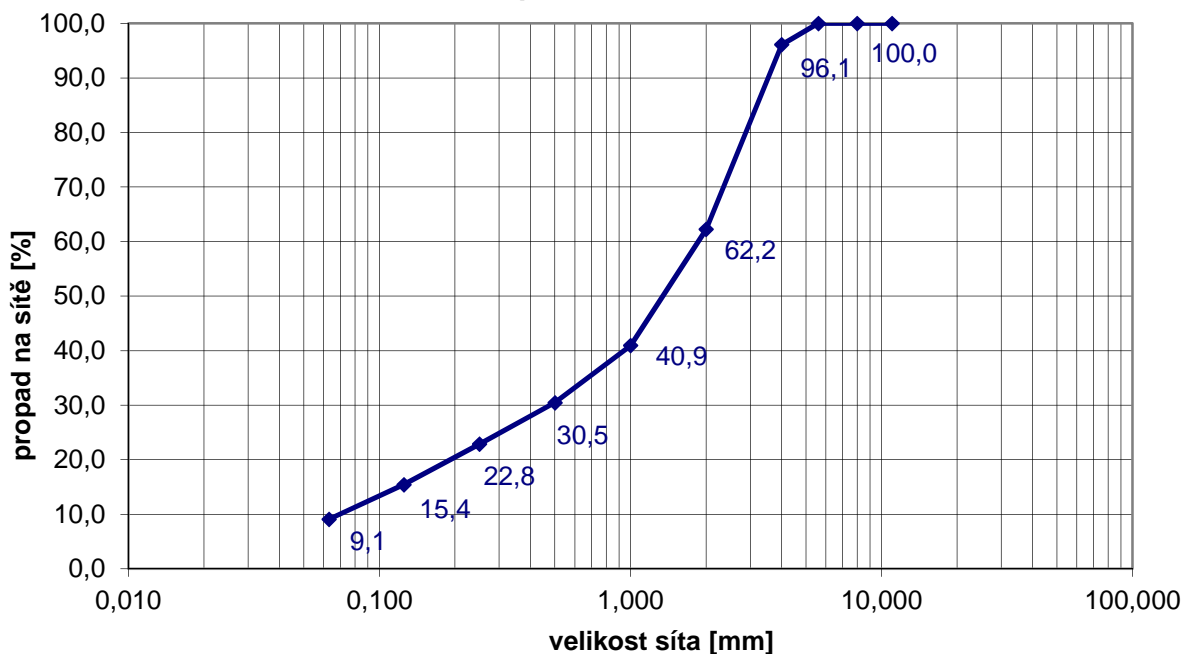


Graf 11 Čára zrnitosti frakce 4/8 mm

Tab. 10 Síťový rozbor frakce 0/4 mm

Frakce	Velikost síta [mm]										
	16	11	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
0/4 mm	100,0	100,0	100,0	100,0	96,1	62,2	40,9	30,5	22,8	15,4	9,1

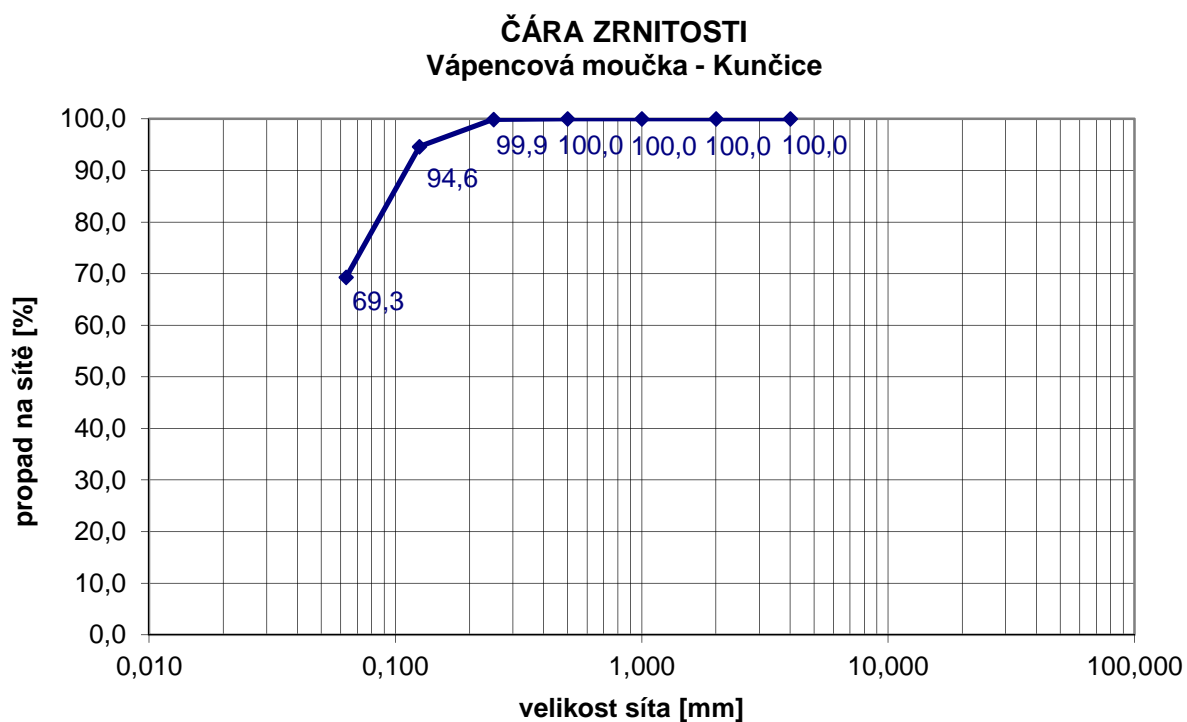
ČÁRA ZRNITOSTI Sloupno - 0/4 mm



Graf 12 Čára zrnitosti frakce 0/4 mm

Tab. 11 Sítový rozbor vápencové moučky

Frakce	Velikost síta [mm]										
	16	11	8	5	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Vápencová moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	94,6	69,3



Graf 13 Čára zrnitosti vápencové moučky

7 NÁVRH SMĚSI

7.1 Návrh směsi SMA 8 LA

Navrženy a posuzovány byly dvě asfaltové směsi SMA 8 LA. V obou směsích je použito stejné asfaltové pojivo, modifikační přísada a vápencová moučka, liší se použitým kamenivem. Návrh směsí SMA 8 LA vycházel ze skladby asfaltových koberců mastixových. Bylo nutné zvýšit mezerovitost oproti klasickým asfaltovým kobercům mastixovým, abychom mohli dosáhnout většího snížení hluku. Větší mezerovitosti bylo docíleno tím, že se ve skladbě směsi oproti SMA 8 snížil podíl filerových částic a byl zvýšen podíl nejhrubší frakce.

7.1.1 SMA 8 LA – 1. návrh

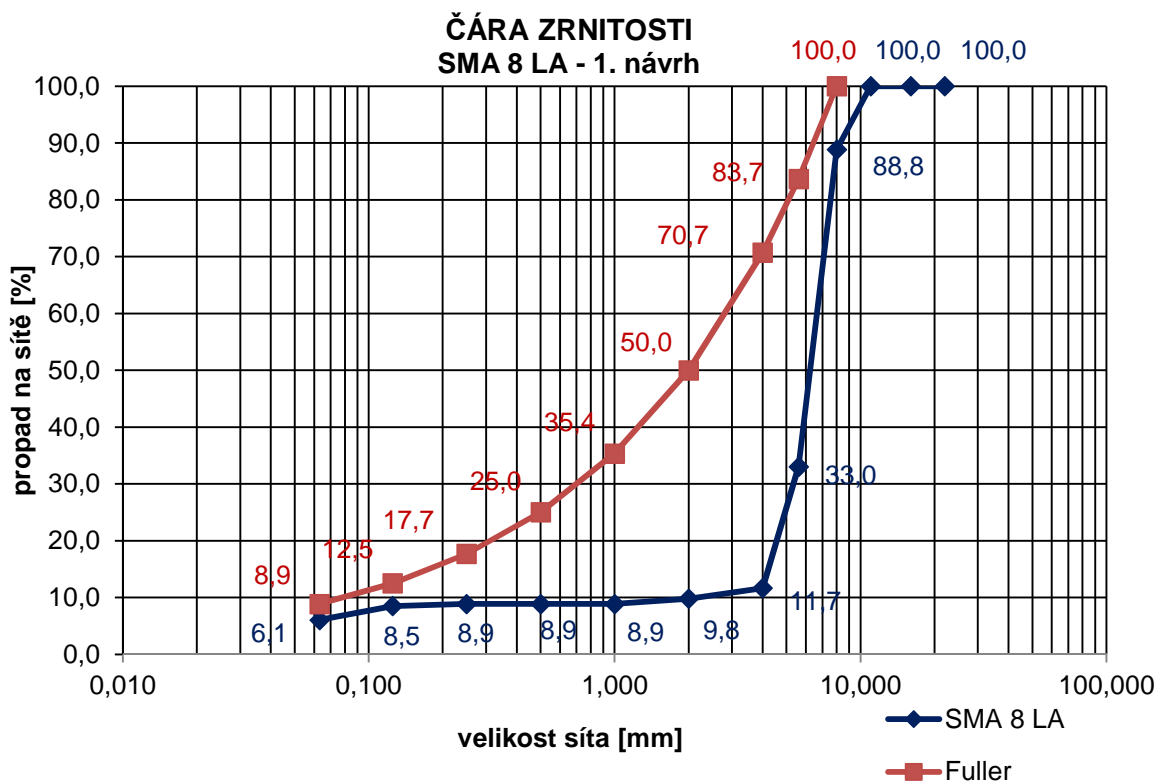
Tab. 12 Sítový rozbor frakcí kameniva a vápencové moučky a výsledná zrnitost směsi

Frakce	Velikost síta [mm]										
	16	11	8	5	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
5/8 mm	100,0	100,0	87,9	27,6	4,5	2,8	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3
Vápencová moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	94,6	69,3
Návrh	100,0	100,0	88,8	33,0	11,7	9,8	8,9	8,9	8,9	8,5	6,1

Na základě sítového rozboru kameniva frakce 5/8 mm a vápencové moučky byla navržena čára zrnitosti směsi SMA 8 LA a stanoveny poměry jednotlivých frakcí kameniv.

Tab. 13 Poměry jednotlivých frakcí kameniv ve směsi SMA 8 LA

Moučka	5/8 mm	Suma
7 %	93 %	100 %



Graf 14 Výsledný návrh čáry zrnitosti směsi SMA 8 LA

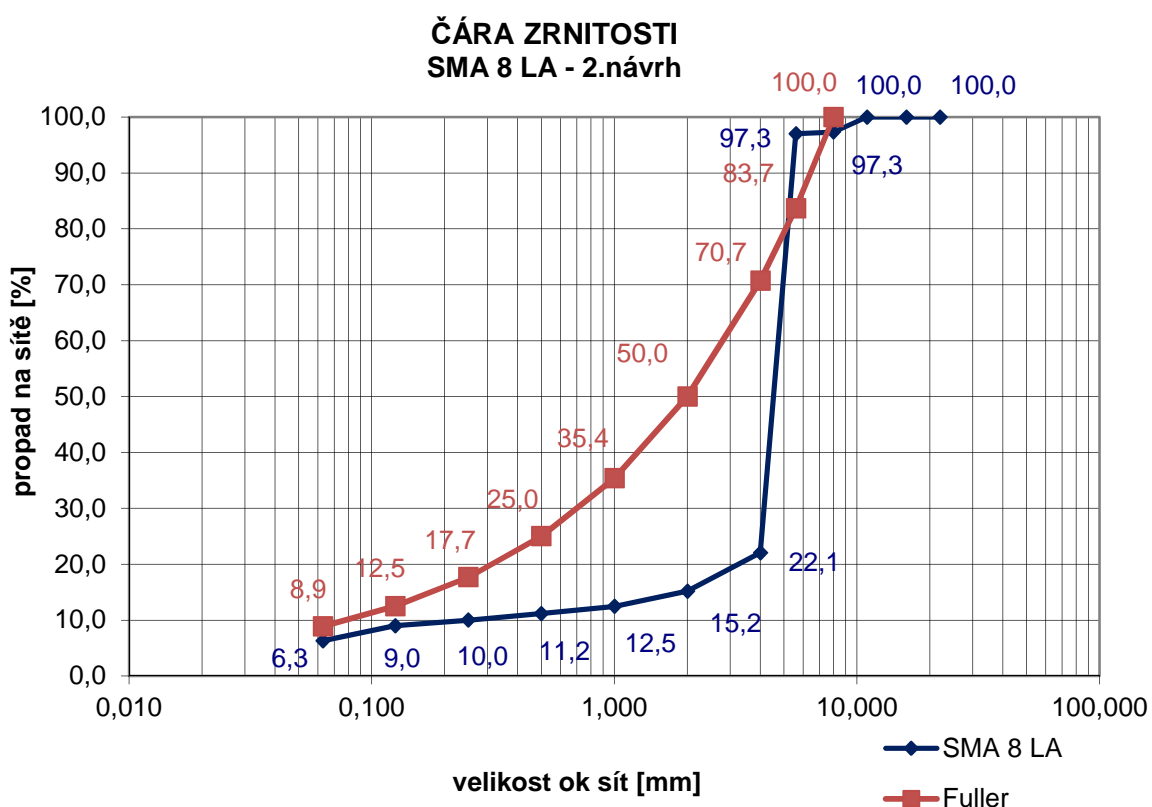
7.1.2 SMA 8 LA – 2. návrh

Tab. 14 Sítový rozbor frakcí kameniva a vápencové moučky a výsledná zrnitost směsi

Frakce	Velikost síta [mm]										
	16	11	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
4/8 mm	100,0	100,0	96,7	96,7	4,6	2,2	2,0	1,8	1,8	1,7	1,6
0/4 mm	100,0	100,0	100,0	100,0	96,1	62,2	40,9	30,5	22,8	15,4	9,1
Vápencová moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	94,6	69,3
Návrh	100,0	100,0	97,3	97,3	22,1	15,2	12,5	11,2	10,1	8,8	6,3

Tab. 15 Poměry jednotlivých frakcí kameniv ve směsi SMA LA

Moučka	0/4 mm	4/8 mm	Suma
5,5 %	13 %	81,5 %	100 %



Graf 15 Výsledný návrh čáry zrnitosti směsi SMA 8 LA

7.2 Výroba směsi SMA 8 LA

Nejprve jsem jednotlivé frakce kameniva nasypal do plechových nádob a vložil vysušit do laboratorní sušárny. Po vysušení jsem jednotlivé frakce kameniva navážil dle návrhu, nasypal do nádob a vložil i s plechovkou s asfaltem do laboratorní sušárny a nechal jednotlivé přísady nahřát na teplotu míchání 170 °C. Do sušárny jsem také vložil nahřát kotel k míchání směsi.



Obr. 35 Laboratorní sušárna

Po dosažení této teploty jsem jednotlivé frakce kameniva nasypal do kotle, vložil jsem kotel i s kamenivem na laboratorní váhy a přesně naměřil dávku asfaltu. Poté jsem do směsi přidal přísadu modicel a směs jsem promíchal v míchacím zařízení tak, aby kamenivo bylo důkladně obaleno.



Obr. 36 Míchací zařízení na promíchání asfaltové směsi

7.3 Výroba zkušebních těles

7.3.1 Marshallova tělesa

Dle normy ČSN EN 12697-35 a navrhnutého složení směsi jsem namíchal směs. Z promíchané směsi jsem navážil tři navážky na Marshallova tělesa. Jedna navážka vážila 1160 g. Navážky jsem vložil do pece, aby se nahřály na požadovanou teplotu hutnění (155 °C). Nahřál jsem také formy na hutnění zkušebních těles. Forma má vnitřní průměr ($101,6 \pm 0,1$) mm a je složena z nástavce, válcové formy a podložky. Formu jsem vytáhl z pece a na podložku jsem vložil separační papírek. Z pece jsem vytáhl směs a začal jsem formu plnit směsí. Plní se forma po 1/3 a zlehka se směs urovnává špachtlí. Po naplnění formy jsem na povrch vložil druhý separační papírek. Formu se směsí jsem upevnil upínacím zařízením k hutnícímu pěchu. Spustil jsem přístroj a směs se hutnila 50 rázy z výšky (460 ± 3) mm. Poté jsem formu vyjmul, otočil, upevnil k hutnícímu pěchu a spustil opětovné hutnění 50 rázy. Po hutnění jsem vyjmul formu se zhutněnou směsí, vyjmul jsem papírky a vložil těleso na podložku a nechal ji chladit pomocí ventilátoru. Po vychladnutí jsem těleso vyjmul výtlačným zařízením z formy a jednotlivá tělesa jsem popsal.



Obr. 37 Hutnící pěch



Obr. 38 Chladicí zařízení s ventilátorem, výtlačné zařízení



Obr. 39 Marshallova zkušební tělesa ze směsi SMA 8 LA – 1. návrh

7.3.2 Marshallova tělesa na zkoušku ITSR

Namíchal jsem asfaltovou směs. Poté jsem ji rozdělil na šest navážek pro výrobu šesti Marshallových zkušebních těles. Postup výroby byl stejný jako viz. Kapitola 7.3.1.

Rozdíl byl v hutnění zkušebních těles. Hutnilo se z obou stran 25 úderů.



Obr. 40 Marshallova zkušební tělesa vyrobená ze směsi SMA 8 LA – 2. Návrh na zkoušku ITSR

7.3.3 Desky

Dle normy ČSN EN 12697-35 jsem namíchal asfaltovou směs. Ze směsi jsem podle normy ČSN EN 12697-33 Asfaltové směsi – Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek vyrobil asfaltové desky (320×260×40 mm) v lamelovém zhutňovači.

Musí se vypočítat hmotnost asfaltové směsi pro výrobu jedné desky dle vzorce.:

$$M = 10^{-6} \times L \times l \times e \times \rho_{mv} \times \left(\frac{100 - v}{100} \right)$$

kde: M hmotnost desky, v kg;

L vnitřní délka formy, v mm;

l vnitřní šířka formy, v mm;

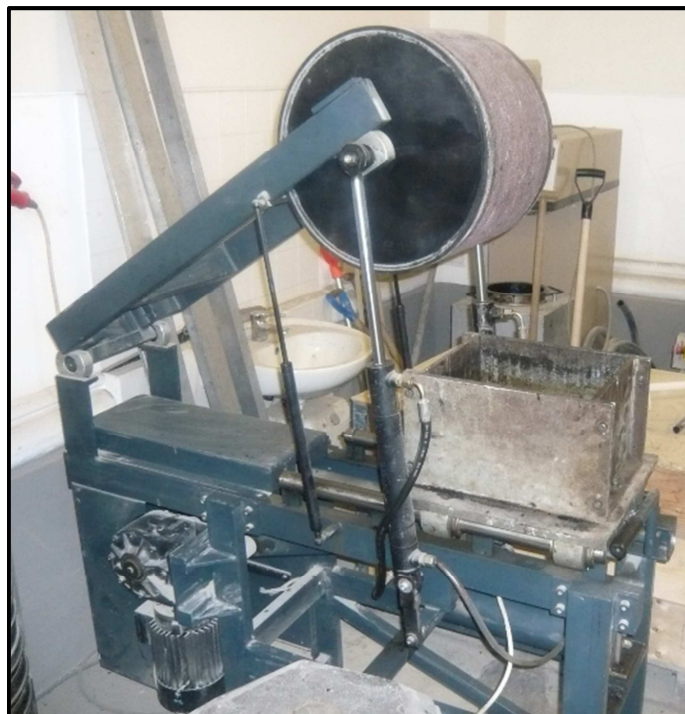
e konečná tloušťka desky, v mm;

ρ_{mv} maximální objemová hmotnost asfaltové směsi, v kg/m³;

v mezerovitost směsi v desce, v %.

Materiál na výrobu asfaltové směsi jsem nahřál na teplotu 170 °C. Namíchal jsem asfaltovou směs a navázil vypočítanou navážku asfaltové směsi na výrobu zkušební desky. Asfaltovou směs jsem nahřál na teplotu hutnění 155 °C. Pomocí distančních rámečků jsem nastavil výšku formy lamelového zhutňovače na 40 mm. Podkladní desku a stěny formy jsem potřel roztokem glycerinu a škrobu, aby se asfaltová směs nepřilepila k formě. Naplnil jsem formu asfaltovou směsí a špachtlí jsem směs rovnoměrně rozprostřel, aby nedošlo k segregaci směsi. Dále bylo třeba dostatečně

upěchovat směs v rozích formy, kde je problém s hutněním. Poté jsem položil desku na směs a na ni jsem začal klást jednotlivé lamely. Spustil jsem pojíždění válce po lamelách. Po skončení hutnění jsem válec vypnul a nechal jsem asfaltovou směs vychladnout na laboratorní teplotu, poté jsem desku vyjmul z formy.



Obr. 41 Lamelový zhutňovač



Obr. 42 Vyrobená deska ze směsi SMA 8 LA – 1. Návrh

7.3.4 Komolý klín (trapezoid)

Z desky o rozměrech 320×260×40 mm jsem na kotoučové pile nařezal zkušební tělesa, která mají tvar komolého klínu (tzv. trapezoidu). U jednotlivých těles jsem změřil rozměry s přesností 0,1 mm a zvážil je s přesností 0,1 g. Zkušební tělesa jsem poté přilepil spodní částí ke kovové desce pomocí dvousložkového epoxidového lepidla (epoxid a tvrdidlo) s přidáním vápencové moučky. Na horní část zkušebních těles jsem přilepil kovový háček, aby se volný konec tělesa mohl upevnit do zkušebního zařízení.



Obr. 43 Kotoučová pila



Obr. 44 Nařezané a nalepené zkušební tělesa (trapezoidy) na zkoušku měření modulů

8 ZKUŠEBNÍ METODY

V této kapitole budou popsány veškeré zkoušky provedené na asfaltové směsi SMA 8 LA.

8.1 ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa - objemová hmotnost podle rozměrů

Norma popisuje zkušební metody pro stanovení objemové hmotnosti zhutněného zkušební asfaltového tělesa. Zkušební metody jsou určeny pro zkušební tělesa, která jsou laboratorně zhutněna nebo pro zkušební tělesa z vrtů vozovky, která se získala po položení a zhutnění asfaltové směsi.

Norma uvádí čtyři postupy jak stanovit objemovou hmotnost asfaltového zkušební tělesa.

- 1) Objemová hmotnost - suchá (stanovení hmotnosti ve vodě bez úpravy tělesa)
- 2) Objemová hmotnost - nasycený suchý povrch (těleso nasyceno vodou a poté povrch tělesa osušen)
- 3) Objemová hmotnost - utěsněné zkušební těleso (těleso utěsněno před ponořením do vody, aby se zabránilo vniknutí vody do mezer tělesa)
- 4) Objemová hmotnost podle rozměrů

Objemovou hmotnost jsem zjišťoval celkem třemi způsoby: podle rozměrů zkušební tělesa, dále postup objemová hmotnost - utěsněné zkušební těleso a objemová hmotnost - nasycený suchý povrch. [16]

8.1.1 Definice

Objemová hmotnost – hmotnost připadající na jednotku objemu zkušební tělesa včetně mezer při dané zkušební teplotě [16]

8.1.2 Zkušební zařízení a pomůcky

Potřeboval jsem váhy s přesností nejméně $\pm 0,1$ g a posuvné měřítko s přesností nejméně $\pm 0,1$ mm. [16]

8.1.3 Postup zkoušky

Vyrobil jsem zkušební Marshallova tělesa viz kapitola 7.3.1. Změřil jsem výšku zkušebních těles ve čtyřech bodech rovnoměrně od sebe vzdálených po obvodu zkušební tělesa. Výška zkušební tělesa se vypočítá jako průměr ze čtyř měření s přesností 0,1 mm. Změřil jsem průměr zkušebních těles. Průměr se měří dvakrát ve směrech na sebe kolmých v horní, střední a dolní části tělesa. Průměr zkušební

tělesa je opět vypočítán jako průměr ze šesti měření s přesností 0,1 mm. Jednotlivá tělesa jsem zvažil s přesností 0,1 g.

8.1.4 Výpočet objemové hmotnosti podle rozměrů

Objemová hmotnost válcového zkušební tělesa podle rozměrů se vypočítá s přesností 1 kg/m³ podle vzorce:

$$\rho_{b,dim} = \frac{m_1}{\frac{\pi}{4} \times h \times d^2} \times 10^6 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

kde $\rho_{b,dim}$ je objemová hmotnost zkušební tělesa podle rozměrů v kg/m³;

m_1 hmotnost suchého tělesa v g;

h výška zkušební tělesa v mm;

d průměr tělesa v mm.

Výsledná objemová hmotnost se vypočítá jako průměr ze tří spočítaných objemových hmotností zkušebních těles s přesností 1 kg/m³. [16]

$$\rho = \frac{\rho_{b,dim,1} + \rho_{b,dim,2} + \rho_{b,dim,3}}{3}$$

8.2 ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa - nasycený suchý povrch

8.2.1 Zkušební zařízení a pomůcky

Potřeboval jsem váhy s přesností nejméně ±0,1 g vhodné k vážení zkušební tělesa na vzduchu a ve vodě (např. v drátěném košíku), vodní lázeň udržující stejnoměrnou teplotu s přesností nejméně ±1,0 °C a hadr pro povrchové osušení zkušební vzorku. [16]

8.2.2 Postup zkoušky

Zvažil jsem hmotnost zkušební suchého tělesa (m_1). Z tabulky, která je uvedena v normě jsem vyčetl hodnotu hustoty vody při zkušební teplotě s přesností 0,1 kg/m³. Zkušební těleso jsem ponořil do vodní lázně a těleso jsem temperoval na známou zkušební teplotu. Zkušební těleso jsem nechal dostatečně dlouho sytit vodou tak, aby se jeho hmotnost nasycení ustálila na konstantní hodnotě. Stanovil jsem hmotnost ponořeného nasyceného zkušební tělesa (m_2). Těleso jsem vyjmul z vody a povrch tělesa osušil hadrem. Po osušení jsem stanovil hmotnost nasyceného tělesa (m_3).

8.2.3 Výpočet objemové hmotnosti – nasycený suchý povrch

Objemová hmotnost zkušební tělesa ρ_{bssd} se vypočítá s přesností 1 kg/m³ dle vzorce:

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

kde: ρ_{bssd} je objemová hmotnost, v kg/m³;

m_1 hmotnost suchého tělesa, v g;

m_2 hmotnost tělesa ve vodě, v g;

m_3 hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově ošetřeného, v g;

ρ_w hustota vody při zkušební teplotě stanovená s přesností 0,1 kg/m³

Výsledná objemová hmotnost se vypočítá jako průměr ze tří spočítaných objemových hmotností zkušebních těles s přesností 1 kg/ m³. [16]

$$\rho = \frac{\rho_{bssd,1} + \rho_{bssd,2} + \rho_{bssd,2}}{3}$$

8.3 ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa - utěsněné zkušební těleso

8.3.1 Zkušební zařízení a pomůcky

Potřeboval jsem váhy s přesností nejméně $\pm 0,1$ g vhodné k vážení zkušební tělesa na vzduchu a ve vodě (např. v drátěném košíku) a vodní lázeň udržující stejnoměrnou teplotu s přesností nejméně $\pm 1,0$ °C. [16]

8.3.2 Postup zkoušky

Zvážil jsem hmotnost zkušební tělesa (m_1). Z tabulky, která je uvedena v normě jsem stanovil hustotu vody při zkušební teplotě s přesností na 0,1 kg/m³. Těleso jsem utěsnil parafínovým voskem. Parafínový vosk jsem zahřál na teplotu tání zvětšenou o 10 °C a teplotu jsem udržoval ± 5 °C. Zkušební těleso jsem částečně ponořil do vosku a tělesem jsem pohyboval tak, abych z povrchu tělesa uvolnil vzduchové bubliny. Po vychladnutí a ztuhnutí vosku na první části zkušební tělesa jsem opakovat postup na další části tělesa, dokud těleso nebylo pokryto souvislou vrstvou parafínového vosku. Zvážil jsem hmotnost suchého utěsněného tělesa (m_2). Těleso jsem ponořil do vodní lázně a nechal temperovat na zkušební teplotu. Stanovil jsem hmotnost ponořeného utěsněného tělesa (m_3).



Obr. 45 Lázeň s parafínem



Obr. 46 Marshallova zkušební tělesa uzavřená parafínem

8.3.3 Výpočet objemové hmotnosti utěsněného zkušebního tělesa

Objemová hmotnost utěsněného zkušebního tělesa ρ_{bsea} se vypočítá s přesností na 1kg/m^3 dle vzorce:

$$\rho_{bsea} = \frac{m_1}{(m_2 - m_3)/\rho_w - (m_2 - m_1)/\rho_{sm}}$$

kde: ρ_{bsea} je objemová hmotnost utěsněného zkušebního tělesa, v kg/m^3 ;

m_1 hmotnost suchého tělesa, v g;

- m_2 hmotnost suchého utěsněného tělesa, v g;
- m_3 hmotnost utěsněného tělesa ve vodě, v g;
- ρ_w hustota vody při zkušební teplotě stanovená s přesností na 0,1 kg/m³;
- ρ_{sm} hustota parafínového vosku při zkušební teplotě, v kg/m³.

Výsledná objemová hmotnost se vypočítá jako průměr ze tří spočítaných objemových hmotností zkušebních těles s přesností 1 kg/ m³. [16]

$$\rho = \frac{\rho_{bsea,1} + \rho_{bsea,2} + \rho_{bsea,2}}{3}$$

8.4 ČSN EN 12697-5 Stanovení maximální objemové hmotnosti

Norma popisuje zkušební metody, jak stanovit maximální objemovou hmotnost asfaltové směsi, která neobsahuje mezery. Norma uvádí tři postupy - volumetrický postup, hydrostatický postup a matematický postup.

- 1) Volumetrický postup – objem se měří jako objem vody nebo rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru
- 2) Hydrostatický postup – objem se vypočítá ze suché hmotnosti vzorku a hmotnosti ve vodě
- 3) Matematický postup – maximální objemová hmotnost se vypočítá ze složení vzorku (obsah pojiva a kameniva) a objemových hmotností složek [17]

K určení maximální objemové hmotnosti jsem zvolil volumetrický postup.

8.4.1 Definice

Maximální objemová hmotnost – hmotnost připadající na jednotku objemu asfaltové směsi bez mezer při dané zkušební teplotě [17]

8.4.2 Zkušební zařízení a pomůcky

Potřeboval jsem destilovanou vodu nebo rozpouštědlo, sušárnu vhodnou k sušení vzorků, váhy s přesností $\pm 0,1$ g, teploměr s přesností měření nejméně $\pm 0,1$ °C, pyknometry s nástavcem známého objemu V_p , vodní lázeň a nádobu s vývěvou umožňující vytěsnění vzduchu z pyknometru, dostatečné množství zkoušeného vzorku. Objem u dvou vzorků jsem měřil jako objem vody vytěsněného vzorkem v pyknometru, u třetího jsem použil místo vody rozpouštědlo. [17]

8.4.3 Postup zkoušky

Zvážil jsem prázdný pyknometr s nástavcem (m_1) o známém objemu V_p . Vysušený a rozvolněný vzorek jsem umístil do pyknometru a temperovalo se na okolní teplotu. Poté jsem zvážil pyknometr s nástavcem i se vzorkem uvnitř pyknometru (m_2).

Naplnil jsem pyknometr destilovanou vodou nebo rozpouštědlem maximálně do výšky 30 mm pod okraj. Pyknometr jsem vložil na 15 min do tlakového hrnce o tlaku 4 kPa, aby se odstranil zachycený vzduch. Poté jsem nasadil nástavec na pyknometr a opatrně jsem ho naplnil destilovanou vodou nebo rozpouštědlem téměř po značku nástavce tak, aby nedošlo k vniknutí vzduchu. Pyknometr jsem vložil do vodní lázně o teplotě 25 °C na nejméně 30 min (60 min), aby se dosáhlo vyrovnání teploty vzorku a vody (rozpuštědla) v pyknometru s vodní lázní. Destilovanou vodou nebo rozpouštědlem jsem dolil pyknometr po značku na nástavci. Voda musí mít stejnou teplotu jako je teplota vodní lázně, tedy 25 °C. Pyknometr jsem vyndal z vodní lázně, osušil a následně zvažil (m_3).



Obr. 47 Pyknometr s asfaltovou směsí, tlakový hrnec



Obr. 48 Vodní lázeň určená k temperování

8.4.4 Výpočet maximální objemové hmotnosti

Maximální objemová hmotnost ρ_{mv} asfaltové směsi, která se stanovila volumetrickým postupem, se spočítá dle vzorce: [17]

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \times V_p - \left(\frac{m_3 - m_2}{\rho_w}\right)} [kg/m^3]$$

- kde ρ_{mv} maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v kg/m^3 stanovená volumetrickým postupem s přesností $1 kg/m^3$;
- m_1 hmotnost pyknometru a nástavce v g;
- m_2 hmotnost pyknometru, nástavce a zkušební vzorku v g;
- m_3 hmotnost pyknometru, nástavce, zkušební vzorku a vody nebo rozpouštědla v g;
- V_p objem pyknometru ke značce nástavce v m^3 ;
- ρ_w hustota rozpouštědla při zkušební teplotě v kg/m^3 s přesností $0,1 kg/m^3$.

8.5 ČSN EN 12697-8 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí

Norma popisuje postup pro výpočet dvou objemových charakteristik zhutněného zkušební tělesa z asfaltové směsi – mezerovitost (V_m).

Metoda lze využít pro zkušební tělesa zhutněna v laboratoři nebo pro jádrové vývrty odebrané z vozovky po pokládce a zhutnění. [18]

8.5.1 Definice

Mezerovitost (V_m) – objem mezer ve zkušebním tělese asfaltové směsi vyjádřený v procentech celkového objemu zkušební tělesa [18]

8.5.2 Výpočet mezerovitosti

Mezerovitost asfaltového zkušební tělesa se vypočítá pomocí maximální objemové hmotnosti směsi a objemové hmotnosti zkušební tělesa. Vypočítá se podle vzorce s přesností na $0,1 \%$. [18]

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

- kde V_m je mezerovitost směsi s přesností 0,1 %;
- ρ_m maximální objemová hmotnost směsi v kg/m^3 ;
- ρ_b objemová hmotnost zkušebního tělesa v kg/m^3 .

8.6 ČSN EN 12697-12 Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě

Norma popisuje tři zkušební metody pro stanovení účinku nasycení vodou a zrychleného temperování ve vodní lázni. [19]

8.6.1 Popis metod

- 1) metoda A – stanovení pevnosti v příčném tahu zkušebních těles asfaltové směsi ve tvaru válce.
- 2) metoda B – stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles asfaltové směsi ve tvaru válce.
- 3) metoda C – definuje hodnotu ztráty hmotnosti u měkkých asfaltových směsí stanovenou po jedné hodině od výroby směsi. Vazbu mezi asfaltem a kamenivem lze pokládat za rovnou hodnotě ztráty hmotnosti. [19]

Dále jsem postupoval podle metody A, abych stanovil u zkušebních těles pevnost v příčném tahu.

8.6.2 Definice

odolnost vůči působení vody – vyjádří se jako hodnota ITSR, která se získá ze zhutněných zkušebních těles asfaltové směsi.

pevnost v příčném tahu (ITS) - maximální tahové napětí, které působí na válcové zkušební těleso zatížené při určené zkušební teplotě a rychlosti posunu zkušebního zařízení, které se stanoví podle ČSN EN 12697-23.

poměr pevností v příčném tahu (ITSR) - poměr pevností v příčném tahu, „mokrých“ (temperovaných ve vodní lázni) a „suchých“ zkušebních těles, vyjádřený v procentech. [19]

8.6.3 Zkušební zařízení a pomůcky

Potřeboval jsem zkušební lis a tlačná čelist se zatěžovacími pásy. Vakuový systém, který je schopen snížit tlak ve vakuové komoře na hodnotu $(6,7 \pm 0,3)$ kPa za (10 ± 1) min a musí udržet požadované vakuum po dobu (30 ± 5) min. Vodní lázeň s termostatickou regulací, která je schopna udržovat teplotu temperování (40 ± 1) °C a (15 ± 2) °C v blízkosti zkušebních těles. Vodní lázeň musí být vybavena děrovanou vložkou uloženou na rozpěrkách nad dnem lázně. Objem vodní lázně by měl být dostatečný tak, aby bylo zajištěno, že horní povrch uložených zkušebních těles se nachází více než 20 mm pod hladinou vody. Sušárna s termostatickou regulací, schopná udržovat zkušební teplotu (15 ± 2) °C v blízkosti zkušebních těles. Vhodná ochrana před vodou při temperování těles ve vodě. [19]

8.6.4 Příprava zkušebních těles

Vyrobil jsem zkušební Marshallova tělesa viz. Kapitola 7.3.2. U hotových zkušebních těles jsem změřil jejich rozměry, zvážil je a vypočítal objemovou hmotnost zkušebních těles z rozměrů. Dále bylo třeba zkušební tělesa rozdělit do dvou skupin podle přibližně stejné průměrné výšky a průměrné objemové hmotnosti. Obě skupiny těles musí být stejného stáří (připraveny během jednoho týdne). Před zahájením temperování se musí umožnit zrání zkušebních těles po dobu 16 až 24 hodin.

8.6.5 Temperování zkušebních těles

Jedna skupina tří těles byla temperována jako mokrá zkušební tělesa a druhá skupina jako suchá zkušební tělesa. Skupinu suchých zkušebních těles jsem uložil na rovný povrchu při laboratorní teplotě (20 ± 5) °C. Skupinu mokrých zkušebních těles jsem uložil na perforovanou podložku ve vakuové komoře naplněné destilovanou vodou o teplotě (20 ± 2) °C do úrovně nejméně 20 mm nad horní povrch zkušebních těles. Ve vakuové komoře byl vytvořen absolutní (zbytkový) tlak $(6,7 \pm 0,3)$ kPa během (10 ± 1) min. Tlak jsem snižoval postupně, aby nedošlo k poškození zkušebních těles rozpínajícím se vzduchem. Požadovaný tlak byl udržován po dobu (30 ± 5) min. Po uplynutí doby, jsem do vakuové komory pomalu vpouštěl atmosférický tlak. Zkušební tělesa byla ponechána ponořena v destilované vodě po dobu dalších (30 ± 5) min. Zkušební tělesa, jejichž objem by se zvýšil o více než 2 %, by se měla vyloučit ze zkoušky. Poté jsem skupinu mokrých těles vložil do vodní lázně o teplotě (40 ± 1) °C na dobu 72 hodin.

8.6.6 Postup zkoušky

Tělesa se temperovala ve vodní lázni na zkušební (25 ± 2) °C. Skupinu suchých zkušebních těles jsem vložil do vodní lázně v ochranném sáčku, aby do těles nevnikla voda. Skupinu mokrých zkušebních těles jsem vložil přímo do vodní lázně. Temperování probíhalo po minimální dobu temperování (tj. 2 hodiny) pro zkušební tělesa, jejichž průměr je menší než 150 mm. Povrch mokrých zkušebních těles jsem před vložením do lisu osušil osuškou a ihned jsem provedl zkouškou stanovení pevnosti v příčném tahu podle ČSN EN 12697-23. Zkouška pevnosti v příčném tahu

se dle normy musí provést do 1 minuty po vyjmutí zkušební tělesa z temperované vodní lázně. [11] Zkušební tělesa jsem vložil do tlačných čelistí lisu. Spustil jsem stlačování zkušební tělesa. Zatížení by mělo působit nepřerušovaně, bez nárazů, dokud se nedosáhne maximálního zatížení. Zaznamenal jsem maximální dosažené zatížení.

8.6.7 Výpočet pevnosti v příčném tlaku ITS

Postupoval jsem dle normy ČSN EN 12697-23 Stanovení pevnosti v příčném tahu.

Pro každé těleso se vypočítá pevnost v příčném tlaku ITS dle vzorce. [20]

$$ITS = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times H}$$

kde: ITS je pevnost v příčném tahu, v MPa, zaokrouhlená na tři platné číslice;

P maximální zatížení, v N, zaokrouhlené na celá čísla;

D průměr zkušební tělesa, v milimetrech, zaokrouhlené na jedno desetinné místo;

H výška zkušební tělesa, v milimetrech, zaokrouhlené na jedno desetinné místo.

8.6.8 Výpočet odolnosti vůči vodě

Odolnost vůči vodě se vypočítá jako poměr pevností v příčném tahu pro každé zkušební těleso dle vzorce: [19]

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_w}{ITS_d}$$

kde: ITSR je poměr pevností v příčném tahu v %;

ITS_w průměrná pevnost v příčném tahu skupiny mokrých zkušebních těles v kPa;

ITS_d průměrná pevnost v příčném tahu skupiny suchých zkušebních těles v kPa.

8.7 ČSN EN 12697-22 Zkouška pojíždění kolem

Norma popisuje zkušební postupy pro stanovení náchylnosti asfaltové směsi k trvalé deformaci pod účinkem zatížení. Zkušební metodu lze použít pouze na asfaltové směsi, které mají maximální velikost zrna ≤ 32 mm.

Zkoušky lze provádět na zkušebních tělesech, které jsou vyrobeny v laboratoři nebo odebrané z vozovky.

Náchylnost k trvalé deformaci je usuzována v závislosti na hloubce vyjeté koleje způsobené opakovaným pojížděním zatěžovacím kolem při stálé teplotě. Zkoušku jsem provedl na zkušebním tělese vyrobeném v laboratoři. Tělesa byla upevněna ve formě tak, že jejich povrch byl v jedné rovině s horním okrajem formy. [21]

8.7.1 Zkušební zařízení a pomůcky

Potřeboval jsem zařízení simulující pojíždění kolem, zkušební formu k upevnění zkušebních těles, zařízení pro regulaci teploty. [21]

8.7.2 Postup zkoušky

Nejprve jsem nechal zkušební tělesa temperovat v sušárně na požadovanou zkušební teplotu. Poté jsem zkušební těleso vložil do upínacího zařízení, které se pevně upevní ke stolu zařízení pro pojíždění kolem. Následné měření vyjeté koleje a počet zatěžovacích cyklů je plně automatizované. Každé zkušební těleso bylo zatěžováno 10 000 zatěžovacími cykly, to odpovídá 20 000 pojezdů. Po dosažení této hodnoty se zkouška ukončila.



Obr. 49 Zkušební zařízení pro pojíždění desek

8.7.3 Výpočet a vyhodnocení zkoušky

Přírůstek vyjeté koleje vyjádřený v mm na 10^3 zatěžovacích cyklů se vypočítá jako: [21]

$$WTS_{AIR} = \frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$$

kde: WTS_{AIR} je přírůstek hloubky vyjeté koleje, v mm/ 10^3 zatěžovacích cyklů;

$d_{10\,000}, d_{5\,000}$ hloubka vyjeté koleje po 5 000 a 10 000 cyklech, v mm.

Průměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje na vzduchu

Výsledek zkoušky je průměr WTS_{AIR} ze dvou zkušebních těles.

Průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje PRD_{AIR} na vzduchu

Poměrná hloubka vyjeté koleje pro zkoušenou asfaltovou směs při 10 000 zatěžovacích cyklech je průměr poměrné hloubky vyjeté koleje zkušebních těles s přesností $\pm 0,1$ %. [21]

8.8 ČSN EN 12697-26 Tuhost

Vzorky známého tvaru se deformují v rozsahu lineárního přetvoření, a to tak že se vyvozuje buď stejné zatěžování nebo zatěžování konstantním přetvořením. Měří se amplituda napětí a poměrného přetvoření spolu s fázovým úhlem mezi napětím a poměrným přetvořením. [22]

8.8.1 Definice

Komplexní modul tuhosti – materiálová, teplotně a časově proměnná charakteristika při krátkodobém namáhání harmonicky proměnným zatížením, jehož výsledkem je poměrné přetvoření, které má posun o fázový úhel v porovnání s průběhem napětí. [22]

8.8.2 Zkušební zařízení a pomůcky

Měřicí zařízení pro měření modulů tuhosti umožňující harmonické zatěžování volného konce vetknutého komolého klínu. Zařízení je složeno z elektrického motoru, který rotační energii přenáší přes nerovnoramennou páku přitlačovanou přitlačnými pružinami na otáčející se excentricky tvarovanou vačku. Vzniklá výchylka je pak táhlem přenášena jako posuv do horní části zkušebního vzorku umístěný v temperovaném prostoru. Nucený posuv táhla a vzniklá silová reakce vzorku jsou měřeny elektrickým snímačem deformace a snímačem síly. [23]

8.8.3 Měření komplexního modulu tuhosti

Díky vizkoelastických vlastností asfaltových směsí dochází k fázovému zpoždění mezi napětím a deformací. Fázový posun způsobuje setrvačné síly vznikající při harmonickém kmitání v průběhu zkoušky. Těleso se při vychýlení volného konce pohybuje jedním směrem a setrvačné síly směrem opačným. Velikost harmonického zatížení odpovídá maximálnímu přetvoření. Amplituda zatížení musí být taková, aby nedocházelo k poškození vzorku. Maximální přetvoření krajních vláken musí být nižší než $5 \cdot 10^{-5}$ m/m, jelikož se při těchto přetvářeních neprojevuje únava materiálu. Před začátkem měření se tělesa uloží do temperovací komory a vytemperují se na zkušební teplotu. Jednotlivé moduly byly měřeny při teplotě +15 °C. Při měření modulu tuhosti byly nastaveny zatěžovací frekvence 5, 10, 15, 20 a 25 Hz. [23]

8.8.4 Postup zkoušky

Modul tuhosti zjistíme ze zkoušky, která je provedena jako dvoubodový ohyb na tělesech tvaru jednostranně vetknutého komolého klínu. Zkušební tělesa jsem vložil do temperovací komory, aby dosáhly požadované zkušební teploty. Poté se těleso upevní do zkušebního zařízení. Spodní část je vetknuta přes podkladní kovovou desku a horní část se upne k táhlu se snímačem síly a deformace. Do počítače jsem vložil vstupní data o rozměrech a hmotnosti zkušebních těles, nastavil požadovanou frekvenci a spustil jsem zkušební zařízení. Změřily se velikosti vyvozené síly, posunu a jejich fázový úhel při frekvencích 5, 10, 15, 20 a 25 Hz. Hodnoty komplexního modulu tuhosti byly stanoveny při teplotách +15 °C.



Obr. 50 Zařízení pro měření modulů tuhosti asfaltových směsí [24]

8.9 Měření akustické pohltivosti

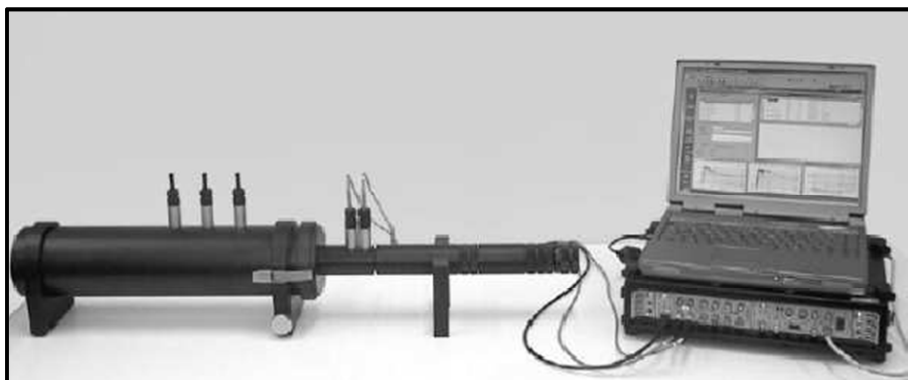
Na jedné desce vyrobené z prvního návrhu směsi SMA 8 LA byla změřena akustická pohltivost pomocí impedanční trubice.

8.9.1 Akustická pohltivost

Akustickou pohltivostí se rozumí schopnost materiálu pohltit část dopadajícího akustického výkonu. Akustická pohltivost se mění s frekvencí, značí se α a nabývá hodnot od 0 do 1. V praxi se můžeme setkat i s akustickou pohltivostí větší než je hodnota 1, ale to bývá zpravidla zapříčiněno zvětšenou plochou povrchu vzorku různým tvarováním (výstupky či vlnami). Dříve se akustická pohltivost zjišťovala v dozvukové místnosti z doby dozvuku. Touto metodou lze stanovit střední akustickou pohltivost materiálu, jímž je dozvuková místnost obložena, ale tato metoda má několik nevýhod. Jednou z největších nevýhod je montáž a upevnění vzorků na strop a stěny (nebo jejich části) a druhou nevýhodou je nutnost velkého množství zkoumaných vzorků. [23]

8.9.2 Impedanční trubice

Jednou z možností, jak eliminovat výše zmíněné nevýhody je využití impedanční trubice k měření akustické pohltivosti materiálu. Obecně lze impedanční trubici popsat jako speciální kovovou trubici s reproduktorem sloužícím jako zdroj zvukových vln. Trubice je opatřena otvory sloužícími k vkládání mikrofonů a otvorem pro vkládání vzorku zkoumaného materiálu. Měření akustické pohltivosti lze provádět pro jednotlivé frekvence samostatně, nebo širokopásmově při použití bílého šumu jako zdroje signálu pro zabudovaný reproduktor. [23]



Obr. 51 Impedanční trubice [23]



Obr. 52 Měření akustické pohltivosti impedanční trubici na desce ze SMA 8 LA

9 VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

V této kapitole budou v tabulkách a grafech popsány, vyhodnoceny výsledky zkoušek, které byly uskutečněny na obou návrzích směsí SMA 8 LA.

9.1 Vyhodnocení objemové hmotnosti a maximální objemové hmotnosti

Z každé směsi se vyrobilo 6 Marshallových těles, 3 tělesa s obsahem asfaltového pojiva 6,6 % a 3 tělesa s obsahem pojiva 7,0 %. U druhého návrhu směsi SMA 8 LA napoprvé nevyšla požadovaná mezerovitost, upravila se tedy čára zrnitosti směsi a dále byly vyrobeny Marshallovy tělesa pouze s obsahem pojiva 6,6 %. Z jednotlivých těles obou směsí byla vyhodnocena objemová hmotnost, maximální objemová hmotnost a mezerovitost. Objemová hmotnost byla stanovena celkem třemi způsoby (metoda B,C a D). Výsledky jsou uvedeny v následujících tabulkách. Maximální objemová hmotnost se stanovala v pyknometru, kde ve dvou případech byla použita destilovaná voda a v jednom případě rozpouštědlo.

Objemové hmotnosti vykazovaly malou závislost na dávkovaném obsahu pojiva, a proto se při následujících zkouškách používala směs s obsahem pojiva 6,6 %.

9.1.1 SMA 8 LA – 1. návrh

Tab. 16 Rozměry Marshallových těles

Vzorek	Výška h [mm]		Průměrná výška h[mm]	Průměr Φ [mm]			Průměrná hodnota průměru d [mm]
6,6% - 1	69,7	69,2	69,4	101,90	101,80	101,40	101,8
	69,0	69,6		101,88	101,72	101,88	
6,6% - 2	66,1	66,4	66,4	101,60	101,38	101,78	101,7
	66,7	66,5		101,80	101,56	101,80	
6,6% - 3	67,4	67,0	66,9	101,98	101,90	102,16	102,0
	66,7	66,6		101,82	101,98	101,90	
7,0% - 1	67,7	67,8	67,6	102,2	102,1	102,2	102,0
	67,3	67,5		101,8	101,9	101,9	
7,0% - 2	66,8	66,4	66,5	101,8	101,6	101,9	101,7
	66,6	66,3		101,7	101,8	102	
7,0% - 3	67,2	67,5	67,4	102	101,9	101,7	101,8
	67,4	67,4		101,7	101,6	101,7	

Tab. 17 Objemová hmotnost Marshallových těles podle rozměrů

Vzorek	Výška h [mm]	Průměr d [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost $\rho_{b,dim}$ [kg/m ³]	Průměrná objemová hmotnost [kg/m ³]
6,6% - 1	69,4	101,8	1150,6	2039,1	2051
6,6% - 2	66,4	101,7	1114,1	2066,6	
6,6% - 3	66,9	102,0	1118,4	2046,9	
7,0% - 1	67,6	102,0	1117,9	2023,8	2044
7,0% - 2	66,5	101,7	1112,8	2060,0	
7,0% - 3	67,4	101,8	1123,5	2048,0	

Tab. 18 Objemová hmotnost Marshallových těles – nasycený suchý povrch

Vzorek	Hmotnost suchého tělesa m_1 [g]	Hmotnost tělesa ve vodě m_2 [g]	Hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově ošetřeného m_3 [g]	Hustota vody při 20 °C [kg/m ³]	Objemová hmotnost tělesa [kg/m ³]	Průměrná objemová hmotnost ρ [kg/m ³]
6,6% - 1	1150,6	687,3	1179,7	998,3	2332,7	2331
6,6% - 2	1114,1	667,3	1143,4	998,3	2336,1	
6,6% - 3	1118,4	668,0	1148,2	998,3	2325,1	
7,0% - 1	1117,9	664,7	1149,4	998,3	2302,5	2303
7,0% - 2	1112,8	659,9	1140,9	998,3	2309,6	
7,0% - 3	1123,5	664,3	1152,6	998,3	2296,9	

Tab. 19 Objemová hmotnost Marshallových těles – utěsněné těleso

Vzorek 6,6%	Hmotnost suchého tělesa m_1 [g]	Hmotnost suchého utěsněného tělesa m_2 [g]	Hmotnost suchého utěsněného tělesa ve vodě m_3 [g]	Hustota vody při 20 °C [kg/m ³]	Hustota parafinového vosku [kg/m ³]	Objemová hmotnost tělesa ρ_{bsea} [kg/m ³]	Průměrná objemová hmotnost ρ [kg/m ³]
6,6% - 1	1153,5	1229,8	652,0	998,3	867,0	2350,3	2337
6,6% - 2	1116,8	1162,6	628,9	998,3	867,0	2318,1	
6,6% - 3	1121,0	1165,4	636,5	998,3	867,0	2342,3	
7,0% - 1	1120,6	1166,6	632,2	998,3	867,0	2323,7	2308
7,0% - 2	1115,6	1155	627,6	998,3	867,0	2310,4	
7,0% - 3	1126,3	1163,3	629,6	998,3	867,0	2289,5	

Tab. 20 Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi

Pyknometr	Hmotnost prázdného pyknometru – m_1 [g]	Hmotnost pyknometru a zk. vzorku – m_2 [g]	Hmotnost pyknometru, zk. vzorku a vody nebo rozpouštědla - m_3 [g]	Objem pyknometru V_p [ml]	Hustota vody při zkušební teplotě 25 °C	Hustota rozpouštědla při 25 °C	Maximální objemová hmotnost $\rho_{mv,i}$ [kg/m ³]	Průměrná maximální objemová hmotnost ρ_{mv} [kg/m ³]
6,6%	I	389,8	795,5	1520,2	656,8		1447,0	2603
	II	382,9	780,4	1280,9	654,5	997,1	2605,8	
	III	381,5	782,8	1284,1	657,0	997,1	2601,8	
7,0%	I	389,8	783,1	1512,0	656,8		1447,0	2586
	II	382,9	775,8	1276,9	654,5	997,1	2585,8	
	III	381,5	782,6	1284,0	657,0	997,1	2602,2	

9.1.2 SMA 8 LA – 2. Návrh

Tab. 21 Rozměry Marshallových těles

Vzorek	Výška h [mm]		Průměrná výška [mm]	Průměr Φ [mm]			Průměr z průměrů [mm]
6,6% - 1	65,8	65,8	66,1	102,12	101,98	102,14	102,1
	66,1	66,6		102,06	102,18	102,12	
6,6% - 2	66,6	66,8	66,4	101,84	101,98	101,84	101,8
	66,0	66,4		101,82	101,82	101,68	
6,6% - 3	67,3	67,0	67,0	101,94	101,88	101,78	101,9
	66,9	66,9		101,98	102,08	101,98	

Tab. 22 Objemová hmotnost Marshallových těles podle rozměrů

Vzorek	Výška h [mm]	Průměr Φ [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost $\rho_{b,dim}$ [kg/m ³]	Průměrná objemová hmotnost [kg/m ³]
6,6% - 1	66,1	102,1	1151,8	2129,9	2123
6,6% - 2	66,4	101,8	1152,6	2130,2	
6,6% - 3	67,0	101,9	1153,2	2109,3	

Tab. 23 Objemová hmotnost Marshallových těles – nasycený suchý povrch

Vzorek	Hmotnost suchého tělesa m_1 [g]	Hmotnost tělesa ve vodě m_2 [g]	Hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově ošetřeného m_3 [g]	Hustota vody při 22 °C [kg/m ³]	Objemová hmotnost tělesa [kg/m ³]	Průměrná objemová hmotnost ρ [kg/m ³]
6,6% - 1	1151,8	648,6	1161,5	997,8	2240,7	2240
6,6% - 2	1152,6	648,4	1161,1	997,8	2243,2	
6,6% - 3	1153,2	653,2	1167,8	997,8	2236,0	

Tab. 24 Objemová hmotnost Marshallových těles – utěsněné těleso

Vzorek	Hmotnost suchého tělesa m_1 [g]	Hmotnost suchého utěsněného tělesa m_2 [g]	Hmotnost suchého utěsněného tělesa ve vodě m_3 [g]	Hustota vody při 22 °C [kg/m^3]	Hustota parafinového vosku [kg/m^3]	Objemová hmotnost tělesa [kg/m^3]	Průměrná objemová hmotnost ρ [kg/m^3]
6,6% - 1	1157,3	1186,9	637,2	997,8	867,0	2239,5	2243
6,6% - 2	1157,0	1186,8	640,3	997,8	867,0	2253,9	
6,6% - 3	1162,1	1197,3	638,4	997,8	867,0	2236,8	

Tab. 25 Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi

Pyknometr		Hmotnost prázdného pyknometru – m_1 [g]	Hmotnost pyknometru a zk. vzorku – m_2 [g]	Hmotnost pyknometru, zk. vzorku a vody nebo rozpouštědla - m_3 [g]	Objem pyknometru V_p [ml]	Hustota vody při zkušební teplotě 25 °C	Hustota rozpouštědla při 25 °C	Maximální objemová hmotnost $\rho_{mv,i}$ [kg/m^3]	Průměrná maximální objemová hmotnost ρ_{mv} [kg/m^3]
6,6%	I	384,1	866,8	1535,3	652,5		1453	2508,6	2494
	II	381,5	843,4	1313,2	657	997,1		2485,6	
	III	385	869,4	1332,9	659,6	997,1		2487,3	

9.2 Vyhodnocení mezerovitosti

9.2.1 SMA8 8 LA – 1. návrh

Tab. 26 Mezerovitost

Objemová hmotnost	Množství pojiva	Maximální objemová hmotnost ρ_m [kg/m ³]	Objemová hmotnost ρ_b [kg/m ³]	Mezerovitost V_m [%]
dle rozměrů	6,6 %	2603	2051	21,2
	7,0 %	2586	2044	21,0
utěsněný vzorek	6,6 %	2603	2337	10,2
	7,0 %	2586	2308	10,8
nasycený suchý povrch	6,6 %	2603	2331	10,4
	7,0 %	2586	2303	10,9

9.2.2 SMA 8 LA – 2. Návrh

Tab. 27 Mezerovitost

Objemová hmotnost	Množství pojiva	Maximální objemová hmotnost ρ_m [kg/m ³]	Objemová hmotnost ρ_b [kg/m ³]	Mezerovitost V_m [%]
dle rozměrů	6,6 %	2494	2123	14,9
utěsněný vzorek	6,6 %	2494	2240	10,2
nasycený suchý povrch	6,6 %	2494	2243	10,0

9.3 Vyhodnocení zkoušky odolnosti vůči vodě (ITSR)

Odolnost zkušebních těles proti vodě (ITSR) vyšel u obou směsí obdobně. Minimální kategorie poměru pevnosti v příčném tahu ITSR dle ČSN EN 13108-5 (odstavec 5.7 – tabulka 10) je pro obě směsi ITSR₈₀ (min. 80 %). U prvního návrhu se hodnota ITSR dostala těsně pod 80 %.

Porovnáme-li hodnoty ITS u obou směsí SMA 8 LA, směs druhého návrhu dosahovala větší pevnost v příčném tahu.

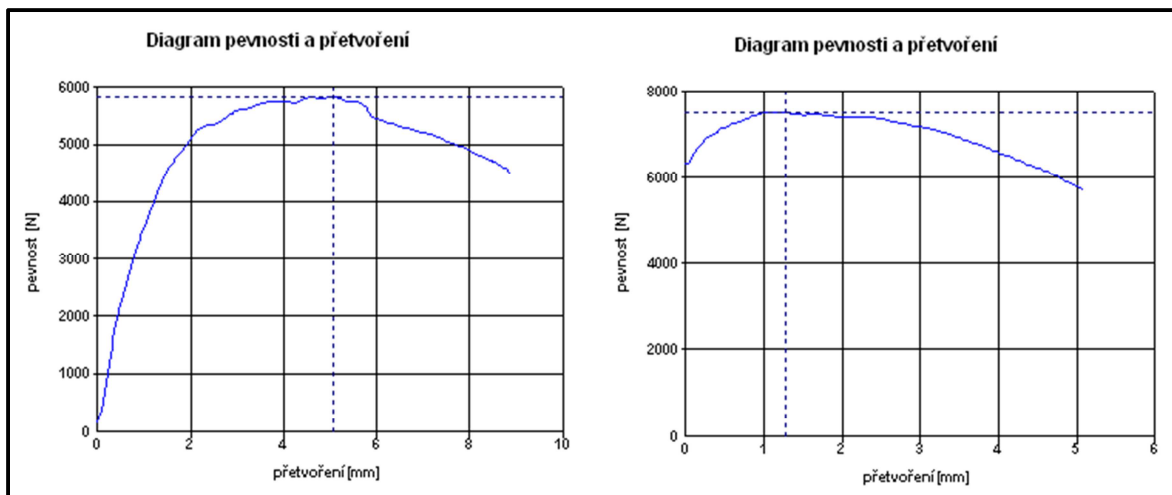
9.3.1 SMA 8 LA – 1. Návrh

Tab. 28 Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost Marshallových těles

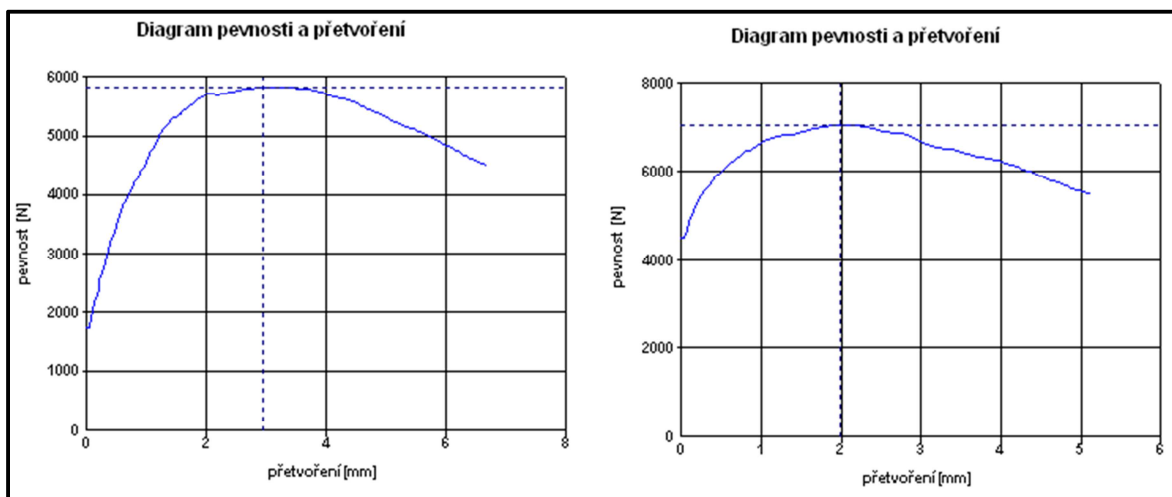
Vzorek mokrý	Výška h [mm]	Průměrná výška [mm]	Průměr d [mm]	Průměrná hodnota průměrů [mm]	Hmotnost [g]	Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]
1	60,25 60,90	60,9	101,64 101,70 101,62	101,7	995,10	2013
	61,10 61,15		101,78 101,82 101,64			
2	61,25 62,15	61,8	101,86 101,88 101,92	102,0	989,10	1957
	62,20 61,70		102,20 101,98 102,30			
5	55,25 55,90	55,7	102,10 102,16 102,20	102,1	915,80	2007
	55,75 56,00		101,98 102,08 102,14			
suchý						
3	62,00 61,00	61,7	101,58 101,50 101,78	101,7	979,80	1958
	62,20 61,50		101,72 101,70 101,62			
4	62,20 61,95	62,0	101,58 101,84 101,66	101,8	993,90	1972
	62,05 61,65		101,80 101,86 101,88			
6	47,65 47,15	47,6	102,16 101,96 101,92	102,1	783,70	2011
	47,70 48,00		102,14 102,20 102,00			

Tab. 29 Hodnota odolnosti vůči vodě (ITSR) směsi SMA LA

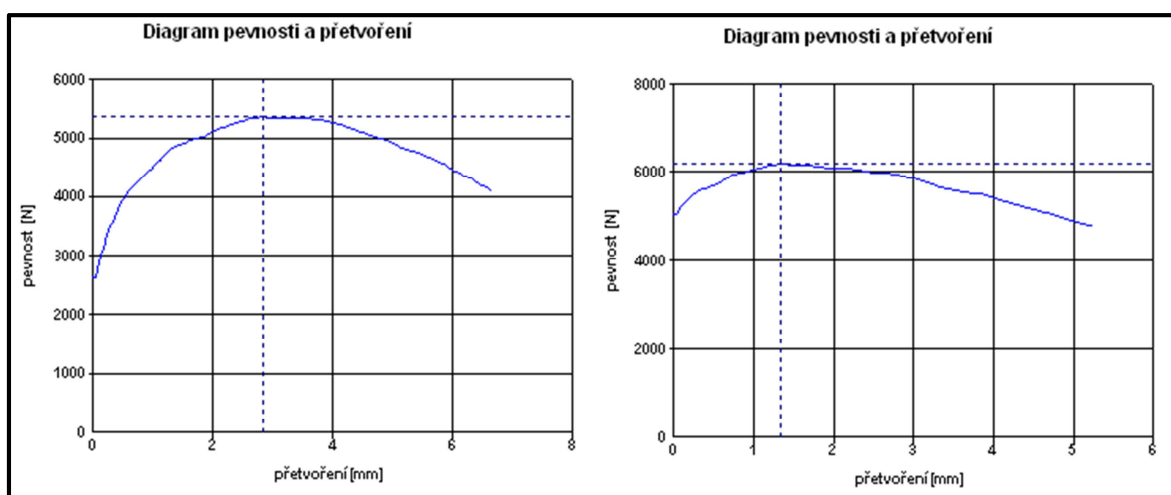
Vzorek mokrý	Maximální síla P [N]	Pevnost ITS [MPa]	Průměr pevnosti [kPa]	ITSR [%]
1	5829	0,60	596,7	78,2
2	5824	0,59		
5	5358	0,60		
suchý			763,3	
3	7052	0,72		
4	7510	0,76		
6	6180	0,81		



Graf 16 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles 1 a 4 při zkoušce ITSR



Graf 17 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles 2 a 3 při zkoušce ITSR



Graf 18 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles 5 a 6 při zkoušce ITSR

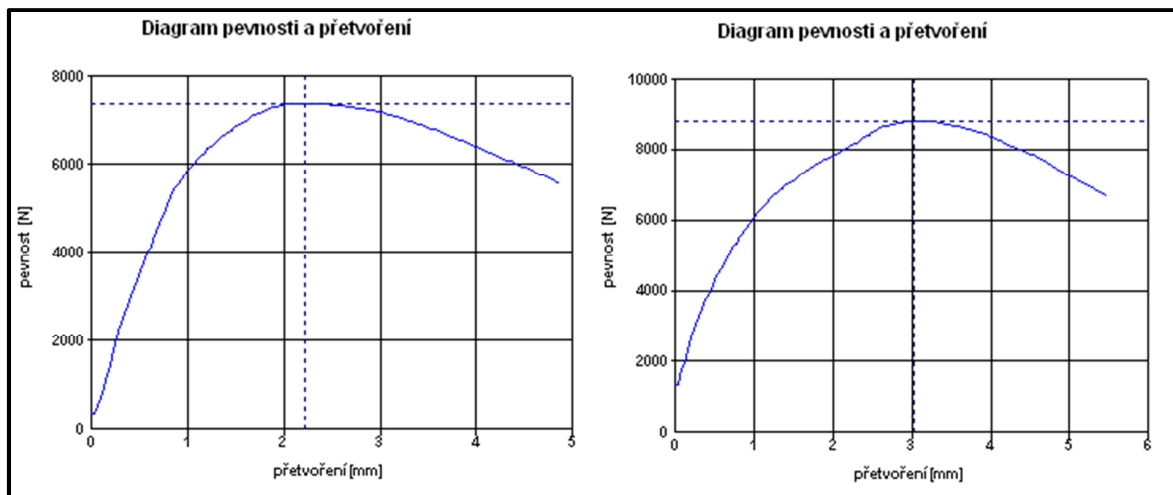
9.3.2 SMA 8 LA – 2. Návrh

Tab. 30 Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost Marshallových těles

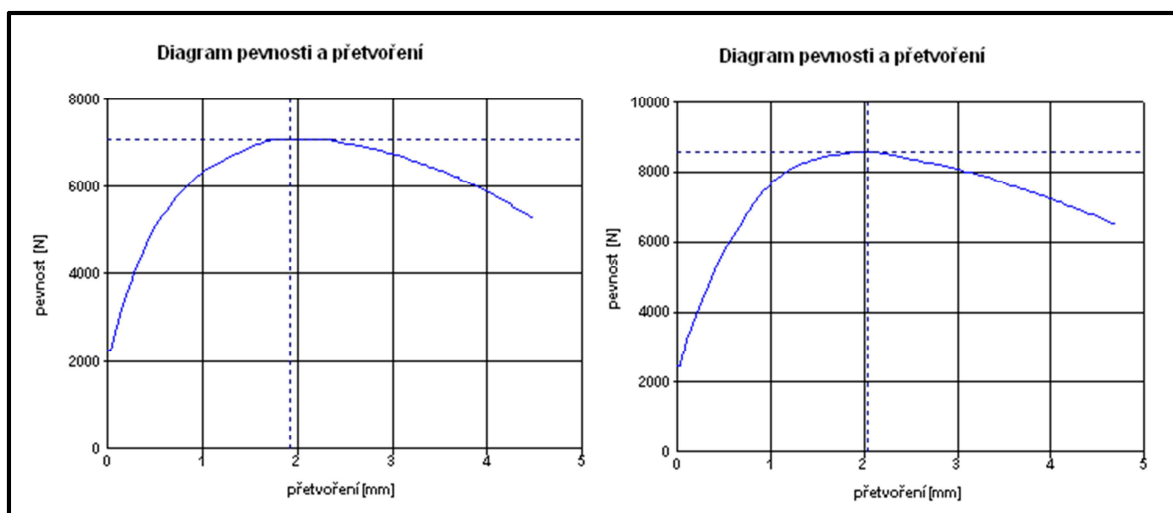
Vzorek mokrý	Výška h [mm]		Průměrná výška [mm]	Průměr d [mm]			Průměrná hodnota průměrů [mm]	Hmotnost [g]	Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]
2	59,04	58,66	58,8	101,62	101,64	101,54	101,6	963,40	2022
	58,52	58,78		101,64	101,66	101,66			
3	58,86	58,88	59,1	101,62	101,80	101,80	101,8	963,30	2005
	59,22	59,30		101,80	101,74	101,82			
4	58,34	58,26	58,4	102,12	102,00	102,18	102,1	962,90	2017
	58,40	58,44		102,10	101,98	102,00			
suchý									
1	58,82	58,50	58,7	102,12	101,94	102,08	102,1	967,10	2014
	58,92	58,46		102,10	102,10	102,08			
5	57,96	58,16	57,7	101,82	101,88	101,90	101,9	941,90	2002
	57,52	57,20		101,84	101,90	101,92			
6	58,28	58,42	58,3	102,12	102,08	102,18	102,1	962,70	2018
	58,24	58,14		102,16	102,06	101,98			

Tab. 31 Hodnota odolnosti vůči vodě (ITSR) směsi SMA LA

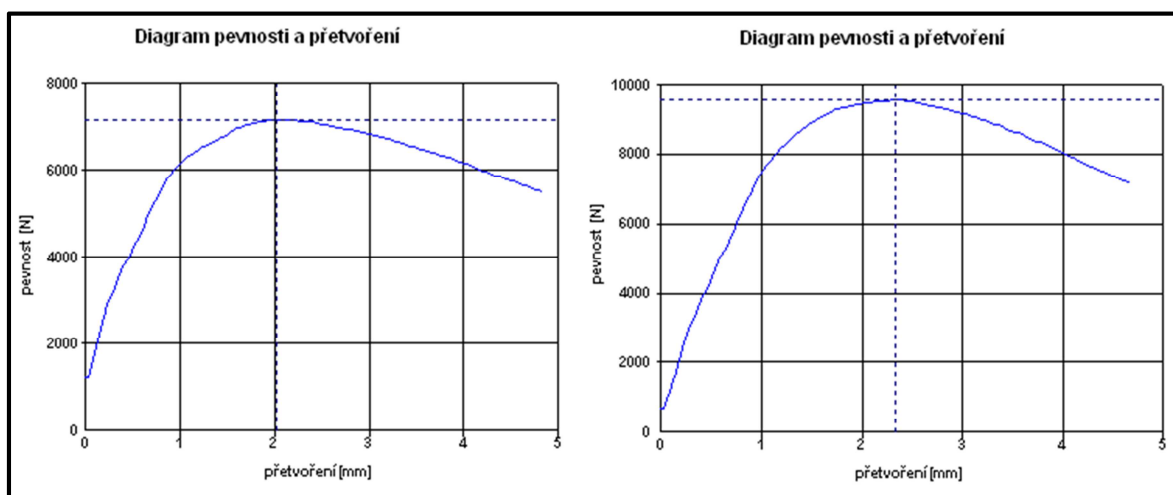
Vzorek mokrý	Maximální síla P [N]	Pevnost ITS [MPa]	Průměr pevnosti [kPa]	ITSR [%]
2	7368	0,79	770,0	80,21
3	7145	0,76		
4	7081	0,76		
suchý				
1	8577	0,91	960,0	
5	9543	1,03		
6	8818	0,94		



Graf 19 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles 2 a 6 při zkoušce ITSR



Graf 20 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles 4 a 1 při zkoušce ITSR



Graf 21 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles 3 a 5 při zkoušce ITSR

9.4 Vyhodnocení zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím

9.4.1 SMA 8 LA – 1. Návrh

Na zkoušku pojíždění kolem byly vyrobeny dvě desky. Jejich rozměry, hmotnosti a objemovou hmotností jsou uvedeny v Tab. 32 a Tab. 33.

Tab. 32 Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 1

Deska SMA 8 LA 6,6/4 - 1					Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
výška h [mm]	39,92	40,20	40,12	40,4	7192	2122
	40,98	40,44	40,46			
šířka b [mm]	321,62	321,92	321,90	321,8		
délka l [mm]	260,90	260,98	260,92	260,9		

Tab. 33 Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 3

Deska SMA 8 LA 6,6/4 - 3					Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
výška h [mm]	42,45	42,90	42,15	42,1	7701	2180
	42,10	42,00	41,10			
šířka b [mm]	321,86	322,02	321,46	321,8		
délka l [mm]	260,66	260,58	260,60	260,6		

Zkouška odolnosti vůči vzniku trvalých deformací metodou pojíždění kolem se prováděla na dvou ztuhnutých deskách o tloušťce 40 mm podle ČSN EN 12697-22. Výsledky jsou uvedeny níže v tabulkách a grafech.

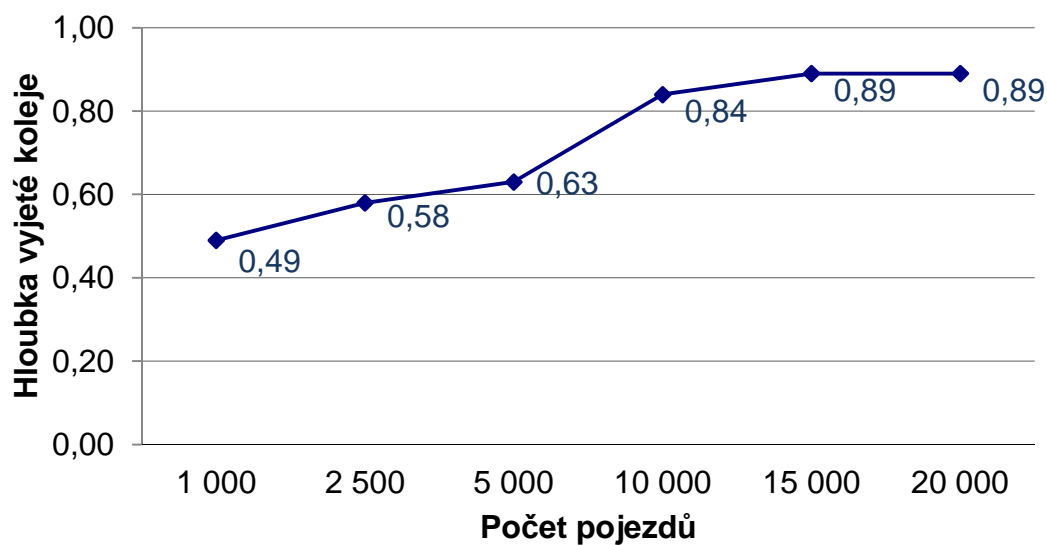
Tab. 34 Vyhodnocení zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím

Počet pojezdů	Počet zatěžovacích cyklů	Teplota zkoušení	Vzorek č. 1		Vzorek č. 2		Průměr	
		[°C]	Y_s [mm]	$WTS_{AIR} = (Y_{S,10} \cdot Y_{S,5})/5$	Y_s [mm]	$WTS_{AIR} = (Y_{S,10} \cdot Y_{S,5})/5$	Y_s [mm]	$WTS_{AIR} = (Y_{S,20} \cdot Y_{S,10})/5$
1 000	500	50	0,49	0,010	0,45	0,016	0,47	0,013
2 500	1 250		0,58		0,55		0,57	
5 000	2 500		0,63		0,62		0,63	
10 000	5 000		0,84		0,72		0,78	
15 000	7 500		0,89		0,77		0,83	
20 000	10 000		0,89		0,80		0,85	

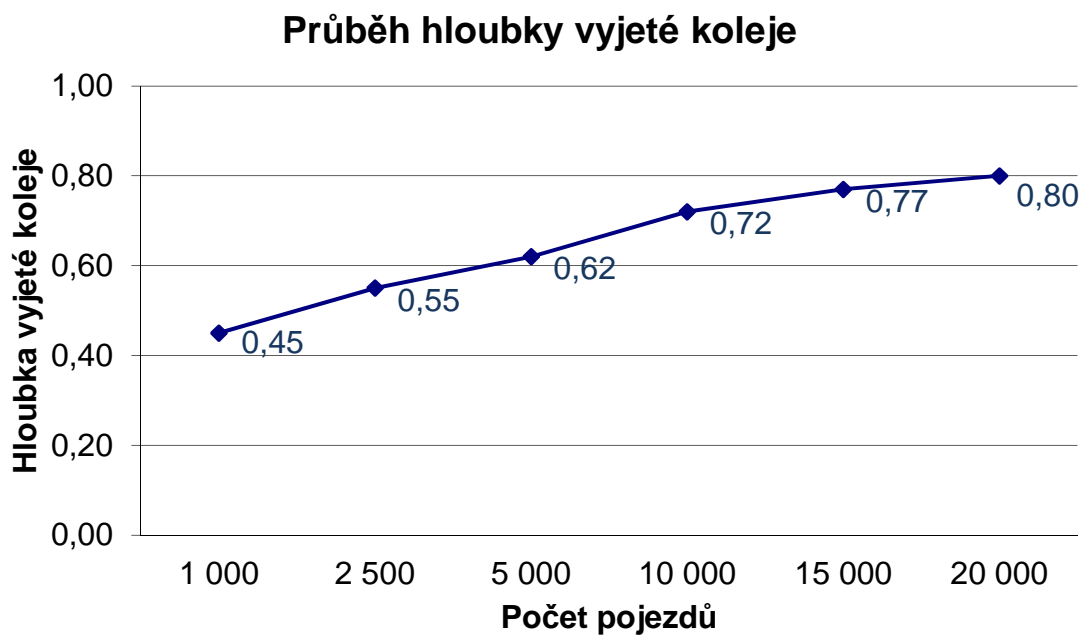
Tab. 35 Vyhodnocení zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím

$Y_{S,10}$	$PRD_{AIR} = Y_{S,10} / t \times 100$	WTS_{AIR}
[mm]	[%]	[mm/10 ³ cyklů]
0,78	1,9	0,013

Průběh hloubky vyjeté koleje



Graf 22 Průběh hloubky vyjeté koleje na desce č. 1



Graf 23 Průběh hloubky vyjeté koleje na desce č. 2

9.4.2 SMA 8 LA – 2. Návrh

Na zkoušku pojíždění kolem byly vyrobeny dvě desky. Jejich rozměry, hmotnosti a objemovou hmotností jsou uvedeny v Tab. 36 a Tab. 37

Tab. 36 Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 2

Deska SMA 8 LA 6,6/4 - 2					Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
výška h [mm]	41,96	42,08	41,64	41,4	7428	2134
	41,26	40,92	40,62			
šířka b [mm]	321,92	322,02	321,58	321,8		
délka l [mm]	261,44	261,12	260,92	261,2		

Tab. 37 Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 3

Deska SMA 8 LA 6,6/4 - 3					Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
výška h [mm]	40,62	41,42	41,52	41,3	7456	2148
	41,38	41,22	41,62			
šířka b [mm]	321,65	322,12	321,94	321,9		
délka l [mm]	261,36	260,82	261,22	261,1		

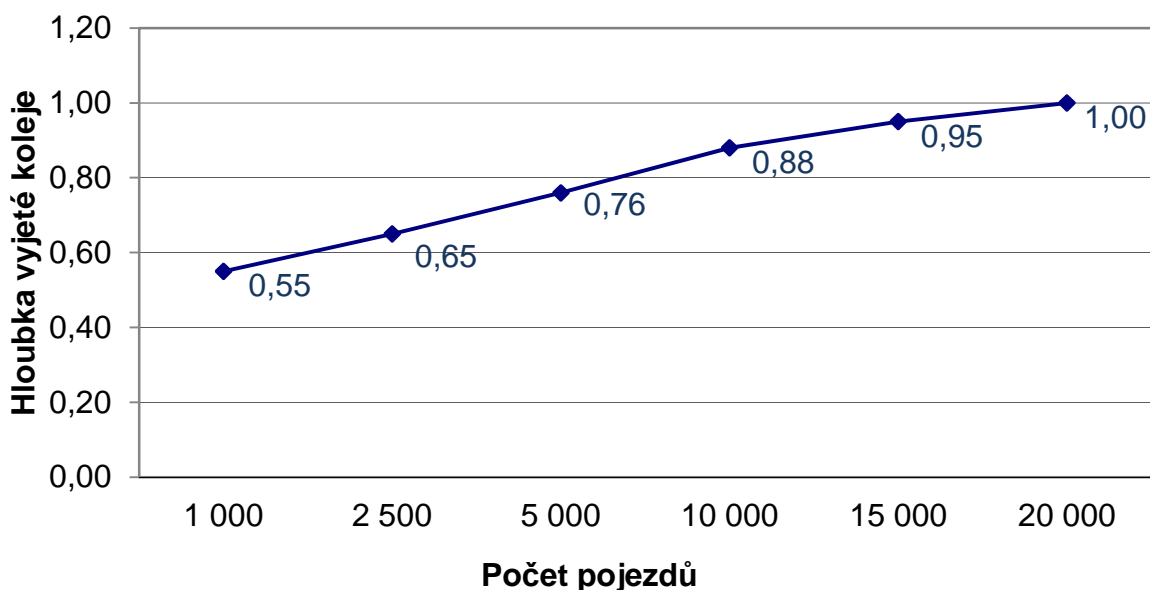
Tab. 38 Vyhodnocení zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím

Počet pojezdů	Počet zatěžovacích cyklů	Teplota zkoušení	Vzorek č. 1		Vzorek č. 2		Průměr	
		[°C]	Y _s [mm]	WTS _{AIR} = (Y _{S,10} - Y _{S,5})/5	Y _s [mm]	WTS _{AIR} = (Y _{S,10} - Y _{S,5})/5	Y _s [mm]	WTS _{AIR} = (Y _{S,20} - Y _{S,10})/5
1 000	500	50	0,55	0,024	0,44	0,022	0,50	0,023
2 500	1 250		0,65		0,50		0,58	
5 000	2 500		0,76		0,59		0,68	
10 000	5 000		0,88		0,69		0,79	
15 000	7 500		0,95		0,76		0,86	
20 000	10 000		1,00		0,80		0,90	

Tab. 39 Vyhodnocení zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím

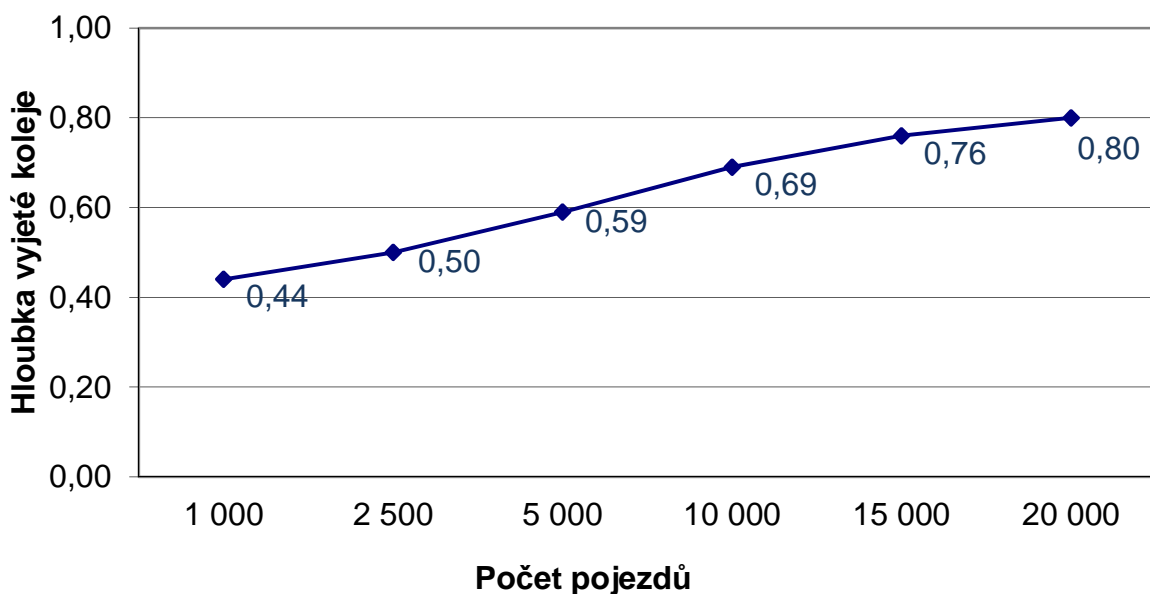
Y _{S,10}	PRD _{AIR} = Y _{S,10} / t x 100	WTS _{AIR}
[mm]	[%]	[mm/10 ³ cyklů]
0,79	1,9	0,023

Průběh hloubky vyjeté koleje



Graf 24 Průběh hloubky vyjeté koleje na desce č. 1

Průběh hloubky vyjeté koleje



Graf 25 Průběh hloubky vyjeté koleje na desce č. 2

První i druhý návrh směsi SMA 8 LA se podle ČSN EN 13108-5 zařadí do kategorie $WTS_{AIR 0,03}$ a $PRD_{AIR 2,0}$. Národní příloha normy ČSN EN 13108-5 požaduje pro SMA 8 S parametr WTS_{AIR} v maximální hodnotě $0,07 \text{ mm}/10^3$ cyklů a parametr PRD_{AIR} v maximální hodnotě 5 %. Směs SMA 8 LA v obou případech v těchto požadavcích vyhovuje.

9.5 Vyhodnocení zkoušky měření komplexních modulů tuhosti

Moduly tuhosti se měřily dvoubodovou zkouškou na zkušebních tělesech (trapezoidy) při teplotě 15 °C a při frekvencích 5, 10, 15, 20 a 25 Hz. Zkouška by se měla provádět při teplotách -5, 10, 15, 25 a 40 °C, ale kvůli časové náročnosti zkoušky a omezené kapacitě laboratoře byla zkouška provedena jen při 15 °C. Návrhová hodnota podle TP 170 je modul tuhosti stanovený při teplotě 15 °C a frekvenci zatěžování 10 Hz. Pro obě směsi bylo vyrobeno z jedné desky 5 zkušebních těles. V Tab. 41 - 45 a Tab. 47 - 51 jsou uvedeny rozměry těles a hmotnost, které se zadávaly do zkušebního zařízení. V grafu je zobrazen průměr naměřených modulů tuhosti.

9.5.1 SMA 8 LA – 1. Návrh

V Tab. 39 jsou uvedeny rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky, která byla nařezána na trapezoidy.

Tab. 40 Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 3

Deska SMA 8 LA 6,6/4 - 3					Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
výška h [mm]	40,25	39,20	39,65	39,8	6783	2027
	40,05	39,65	40,10			
šířka b [mm]	322,20	322,26	321,38	321,9		
délka l [mm]	260,82	261,18	261,32	261,1		

Tab. 41 Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 1

Rozměry tělesa - T1					Hmotnost tělesa [g]
e [mm]	40,85	40,75	40,65	40,8	1000,0
b [mm]	25,05	25,05	24,90	25,0	
B [mm]	69,85	69,80	69,90	69,9	
h [mm]	249,32	249,6	249,12	249,3	

Tab. 42 Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 2

Rozměry tělesa - T2					Hmotnost tělesa [g]
e [mm]	40,05	40,25	40,40	40,2	1029,0
b [mm]	28,55	28,65	28,75	28,7	
B [mm]	69,65	69,50	69,45	69,5	
h [mm]	249,36	249,35	249,28	249,3	

Tab. 43 Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 3

Rozměry tělesa - T3					Hmotnost tělesa [g]
e [mm]	40,35	40,25	39,40	40,0	1005,0
b [mm]	25,05	25,15	25,10	25,1	
B [mm]	70,05	70,00	70,15	70,1	
h [mm]	249,42	249,36	249,46	249,4	

Tab. 44 Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 4

Rozměry tělesa - T4					Hmotnost tělesa [g]
e [mm]	40,05	40,35	40,30	40,2	987,0
b [mm]	27,25	27,10	27,25	27,2	
B [mm]	69,40	69,30	69,25	69,3	
h [mm]	249,68	249,7	249,5	249,6	

Tab. 45 Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 5

Rozměry tělesa - T5					Hmotnost tělesa [g]
e [mm]	40,30	40,30	39,70	40,10	1002,0
b [mm]	26,35	26,30	26,45	26,40	
B [mm]	70,95	70,75	70,90	70,90	
h [mm]	249,46	249,32	249,44	249,4	

9.5.2 SMA 8 LA – 2. Návrh

V Tab. 45 jsou uvedeny rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky, která byla nařezána na trapezoidy.

Tab. 46 Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 1

Deska SMA 8 LA 6,6/4 - 1					Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
výška h [mm]	40,42	41,32	41,78	41,4	7418	2135
	40,54	41,80	42,28			
šířka b [mm]	321,61	321,98	321,94	321,8		
délka l [mm]	261,22	261,02	260,96	261,1		

Tab. 47 Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 1

Rozměry tělesa - T1					Hmotnost tělesa [g]
e [mm]	42,46	42,60	41,64	42,2	1150,6
b [mm]	27,78	28,00	27,88	27,9	
B [mm]	71,12	70,62	71,00	70,9	
h [mm]	250,80	250,82	251,08	250,9	

Tab. 48 Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 2

Rozměry tělesa - T2					Hmotnost tělesa [g]
e [mm]	42,10	42,00	41,56	41,9	1122,7
b [mm]	27,90	28,02	27,98	28,0	
B [mm]	70,02	69,82	69,84	69,9	
h [mm]	250,68	251,36	251,18	251,1	

Tab. 49 Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 3

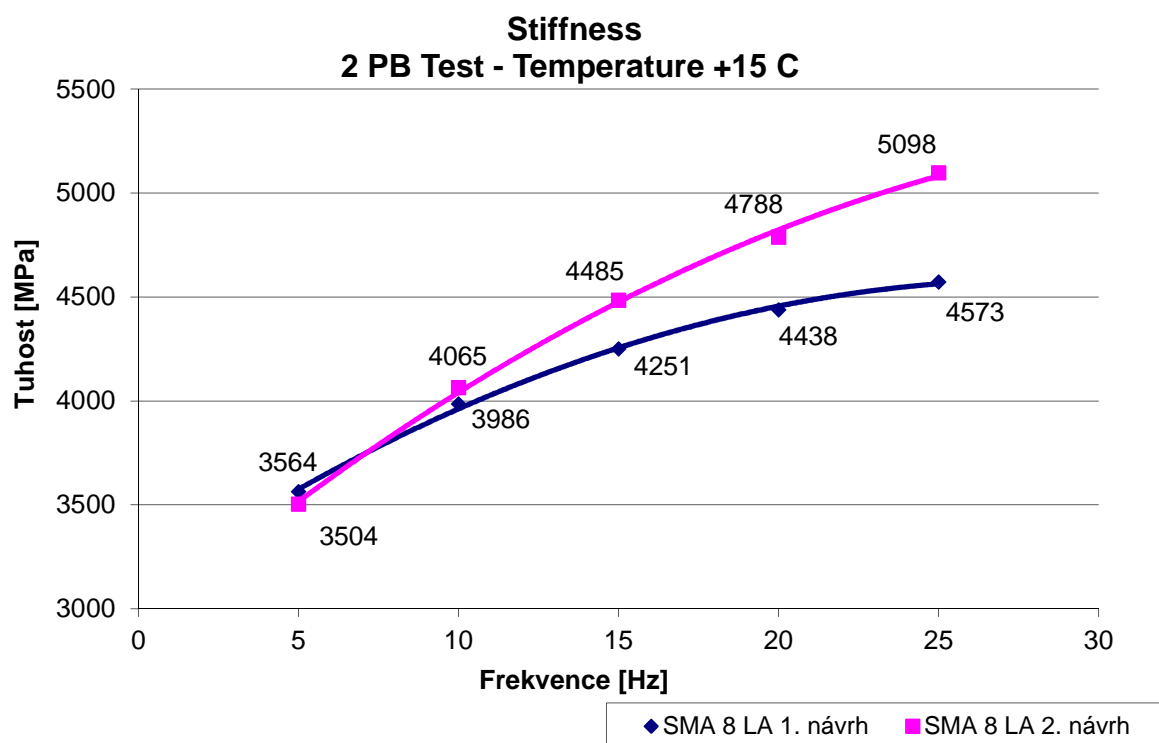
Rozměry tělesa - T3					Hmotnost tělesa [g]
e [mm]	40,60	41,58	41,70	41,3	1089,7
b [mm]	26,54	26,52	26,48	26,5	
B [mm]	71,50	71,18	71,40	71,4	
h [mm]	251,62	252,00	251,22	251,6	

Tab. 50 Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 4

Rozměry tělesa - T4					Hmotnost tělesa [g]
e [mm]	41,46	41,32	40,42	41,1	1084,2
b [mm]	28,62	29,00	28,96	28,9	
B [mm]	69,70	70,10	70,08	70,0	
h [mm]	250,94	250,92	251,02	251,0	

Tab. 51 Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 5

Rozměry tělesa - T5					Hmotnost tělesa [g]
e [mm]	40,62	41,24	41,08	41,0	1040,6
b [mm]	25,20	25,18	25,50	25,3	
B [mm]	70,50	71,24	70,90	70,9	
h [mm]	251,60	251,90	252,60	252,0	



Graf 26 Závislost modulu tuhosti na teplotě a frekvenci zatěžování

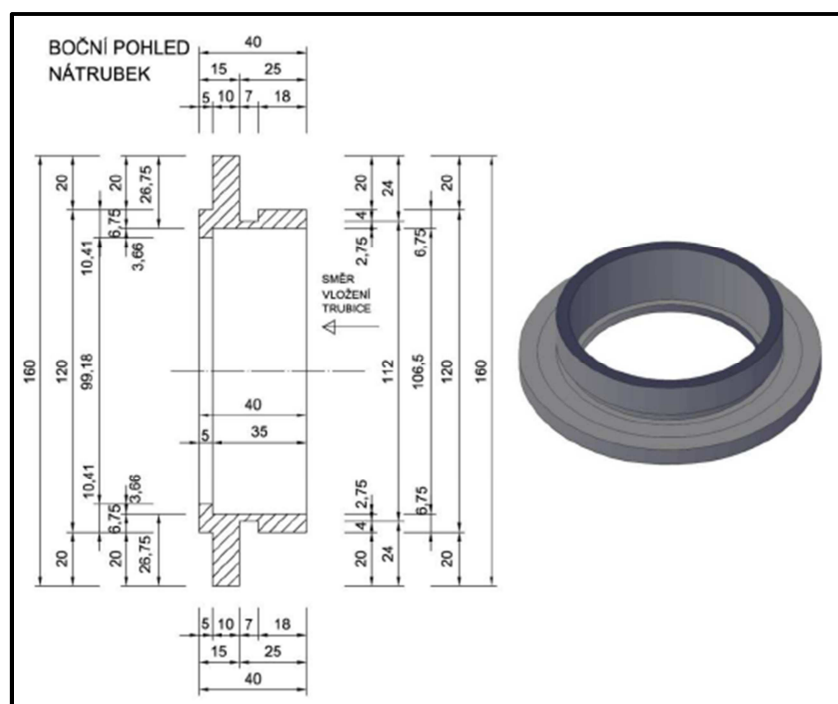
Z uvedeného výsledku v grafu je vidět, že vyšší tuhostí dosahovala směs 2. návrhu. Hodnota modulu tuhosti směsi SMA 8 LA – 1. Návrh je při teplotě 15 °C a frekvenci zatěžování 10 Hz 3986 MPa a modul tuhosti směsi SMA 8 LA – 2. Návrh za stejných podmínek dosáhl hodnoty 4065 MPa. Nižší tuhost prvního návrhu lze přisoudit vyšší mezerovitosti směsi. Norma ČSN EN 13108-5 nezavádí funkční způsob specifikace směsi asfaltového koberce mastixového.

9.6 Vyhodnocení měření akustické pohltivosti

Akustická pohltivost směsi SMA 8 LA se měřila impedanční trubicí, která byla přiložena speciálním nátrubkem k desce. Akustická pohltivost směsi SMA 8 LA je v Grafu 11 porovnávána s ostatními nízkohlučnými povrchy, kde toto měření bylo dříve provedeno. Směs SMA 8 LA prokázala největší akustickou pohltivost.

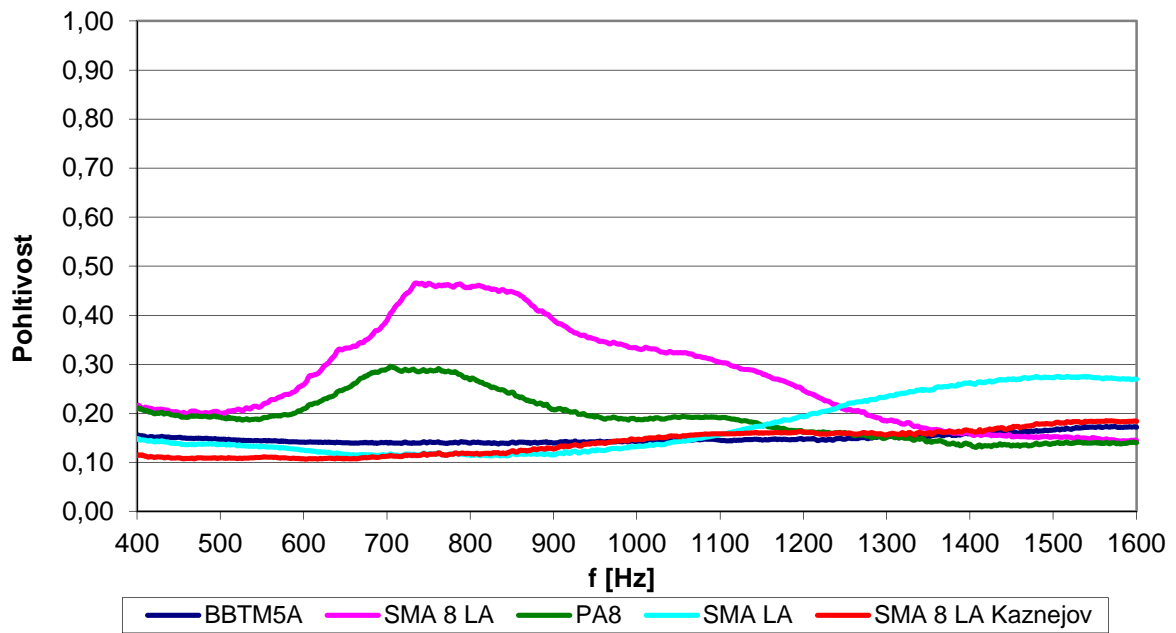
Tab. 52 Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 2 – SMA 8 LA – 1. návrh

Deska SMA 8 LA 6,6/4 - 2					Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
výška h [mm]	40,30	39,92	40,34	40,2	6782	2010
	40,60	39,86	39,96			
šířka b [mm]	321,36	321,82	322,10	321,8		
délka l [mm]	260,96	261,10	261,32	261,1		



Obr. 53 Pohled na nátrubek [25]

Srovnání zkušebních vzorků



Graf 27 Srovnání akustické pohltivosti několika vzorků se směsí SMA 8 LA (růžová barva)

10 ZÁVĚR

V rámci diplomové práce byla zpracována problematika nízkohlučných obrusných vrstev vozovek. V teoretické části práce byla věnována pozornost hluku, jeho vzniku a možnostech snižování hlukové zátěže. Dále byl proveden přehled o nízkohlučných vrstvách vozovek, kde větší pozornost byla věnována nízkohlučnému asfaltovému koberci mastixovému.

V praktické části práce byly provedeny dva návrhy nízkohlučných asfaltových směsí typu SMA 8 LA. U obou směsí byly stanoveny parametry potřebné pro zkoušku typu a navíc stanoveny moduly tuhosti a zvuková pohltivost.

Doporučuji se nadále touto problematikou zabývat v následujících diplomových pracích, jelikož se nízkohlučný asfaltový koberec mastixový jeví jako vhodná alternativa kobercům drenážním.

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Zdroje automobilového hluku [8].....	14
Obr. 2	Vibrace způsobené nárazem dezénového bloku [6]	15
Obr. 3	Sání vzduchu pneumatik [6]	16
Obr. 4	Tření pneumatiky [6]	16
Obr. 5	Adheze mezi dezénem a vozovkou [6]	17
Obr. 6	Efekt trubky [6].....	17
Obr. 7	Schéma Helmholtzova rezonátoru [6].....	18
Obr. 8	Vibrace kostry pneumatiky [6]	18
Obr. 9	Akustická rezonance uvnitř pneumatiky [6].....	19
Obr. 10	Princip fungování protihlukových stěn [9]	22
Obr. 11	Protihluková stěna Liadur – pohltivá vrstva je tvořena lehkým mezerovitým betonem z pórovitého kameniva Liapor; protihluková stěna Prefa Akustik – pohltivá vrstva je tvořena dřevocementovými tvarovkami [9].....	23
Obr. 12	Protihlukový panel DSH; PVC protihlukové stěny HAMPPEP [9].....	23
Obr. 13	Rozdělení textury a nerovností povrchu vozovky z hlediska délky vlny [5]	25
Obr. 14	Rozdíl mezi mikrotexturou a makrotexturou vozovky [5].....	25
Obr. 15	Systém Italgrip a) povrch bez nátěru, b) povrch s nátěrem, c) fotografie povrchu [5].....	27
Obr. 16	CB kryt s vymývaným kamenivem. [5].....	28
Obr. 17	CB kryt s vymývaným kamenivem. [10].....	28
Obr. 18	Cementový kryt s výbrusy [5]	29
Obr. 19	Povrch vozovky texturovaný speciálními hráběmi [8].....	29
Obr. 20	Povrch vozovky texturovaný hrubou tkaninou [8]	30
Obr. 21	Kombinace hrubé tkaniny a speciálních hrábí [8]	30
Obr. 22	Drenážní cementový beton [5].....	31
Obr. 23	Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy (BBTM) [5].....	32
Obr. 24	Eufonické vozovky [5].....	32
Obr. 25	Asfaltová směs modifikovaná pryžovým granulátem, ul. Koliště, Brno [13].....	33
Obr. 26	Tři typy poroelastického povrchu použitého ve Stockholmu [5]	34
Obr. 27	Detail dvouvrstvého asfaltového koberce drenážního [14]	36
Obr. 28	Detail drenážního koberce (vlevo), detail zaneseného drenážního v řádném stavu koberce [14].....	36
Obr. 29	Použití krycích vrstev v závislosti na rychlosti jízdy [15]	37
Obr. 30	Poškozená místa SMA LA v oblasti BAB A93 u Schwandorfu [15].....	38

Obr. 31	Teplota povrchu SMA LA na desce finišeru [15].....	40
Obr. 32	Teplota krycí vrstvy po zastavení finišeru [15]	40
Obr. 33	SPB-snižování hluku SMA0/8 S-LA / SMA 8 LA od roku 2005 do 2010 [15]	42
Obr. 34	Modicel.....	50
Obr. 35	Laboratorní sušárna.....	58
Obr. 36	Míchací zařízení na promíchání asfaltové směsi	58
Obr. 37	Hutnicí pěst.....	59
Obr. 38	Chladicí zařízení s ventilátorem, výtlačné zařízení	60
Obr. 39	Marshallova zkušební tělesa ze směsi SMA 8 LA – 1. návrh.....	60
Obr. 40	Marshallova zkušební tělesa vyrobena ze směsi SMA 8 LA – 2. Návrh na zkoušku ITSr ..	61
Obr. 41	Lamelový zhutňovač.....	62
Obr. 42	Vyrobená deska ze směsi SMA 8 LA – 1. Návrh.....	62
Obr. 43	Kotoučová pila	63
Obr. 44	Nařezané a nalepené zkušební tělesa (trapezoidy) na zkoušku měřené modulů	63
Obr. 45	Lázeň s parafínem.....	67
Obr. 46	Marshallova zkušební tělesa uzavřená parafínem	67
Obr. 47	Pyknometr s asfaltovou směsí, tlakový hrnec	69
Obr. 48	Vodní lázeň určená k temperování.....	69
Obr. 49	Zkušební zařízení pro pojíždění desek.....	74
Obr. 50	Zařízení pro měření modulů tuhosti asfaltových směsí [24]	76
Obr. 51	Impedanční trubice [23]	77
Obr. 52	Měření akustické pohltivosti impedanční trubicí na desce ze SMA 8 LA	78
Obr. 53	Pohled na nátrubek [25].....	99

12 SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Vývoj technologie – asfaltová pojivová vrstva + SMA LA od 2005 do 2011 [15].....	39
Tab. 2	Zvolené varianty kameniva [15]	43
Tab. 3	Výsledky zkoumaných variant [15].....	43
Tab. 4	Změna rozvrstvení velikosti zrn v závislosti na energii zhutnění [15]	45
Tab. 5	Výpis požadavků na SMA LA, stav 04/2011 [15]	48
Tab. 6	Srovnání PA 8 a SMA 8 LA [15]	49
Tab. 7	Sítový rozbor frakce 5/8 mm	51
Tab. 8	Sítový rozbor vápencové moučky.....	52
Tab. 9	Sítový rozbor frakce 4/8 mm	52
Tab. 10	Sítový rozbor frakce 0/4 mm	53
Tab. 11	Sítový rozbor vápencové moučky.....	54
Tab. 12	Sítový rozbor frakcí kameniva a vápencové moučky a výsledná zrnitost směsi	55
Tab. 13	Poměry jednotlivých frakcí kameniv ve směsi SMA 8 LA	55
Tab. 14	Sítový rozbor frakcí kameniva a vápencové moučky a výsledná zrnitost směsi	56
Tab. 15	Poměry jednotlivých frakcí kameniv ve směsi SMA LA	57
Tab. 16	Rozměry Marshallových těles.....	79
Tab. 17	Objemová hmotnost Marshallových těles podle rozměrů.....	80
Tab. 18	Objemová hmotnost Marshallových těles – nasycený suchý povrch	80
Tab. 19	Objemová hmotnost Marshallových těles – utěsněné těleso.....	81
Tab. 20	Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi	81
Tab. 21	Rozměry Marshallových těles.....	82
Tab. 22	Objemová hmotnost Marshallových těles podle rozměrů.....	82
Tab. 23	Objemová hmotnost Marshallových těles – nasycený suchý povrch	82
Tab. 24	Objemová hmotnost Marshallových těles – utěsněné těleso.....	83
Tab. 25	Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi	83
Tab. 26	Mezerovitost	84
Tab. 27	Mezerovitost	84
Tab. 28	Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost Marshallových těles	85
Tab. 29	Hodnota odolnosti vůči vodě (ITSR) směsi SMA LA.....	85
Tab. 30	Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost Marshallových těles	87
Tab. 31	Hodnota odolnosti vůči vodě (ITSR) směsi SMA LA.....	87
Tab. 32	Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 1	89

Tab. 33	Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 3	89
Tab. 34	Vyhodnocení zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím	90
Tab. 35	Vyhodnocení zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím	90
Tab. 36	Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 2	91
Tab. 37	Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 3	92
Tab. 38	Vyhodnocení zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím	92
Tab. 39	Vyhodnocení zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím	92
Tab. 40	Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 3	94
Tab. 41	Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 1	95
Tab. 42	Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 2	95
Tab. 43	Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 3	95
Tab. 44	Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 4	95
Tab. 45	Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 5	96
Tab. 46	Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 1	96
Tab. 47	Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 1	96
Tab. 48	Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 2	97
Tab. 49	Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 3	97
Tab. 50	Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 4	97
Tab. 51	Rozměry a hmotnost zkušebního tělesa č. 5	97
Tab. 52	Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 2 – SMA 8 LA – 1. návrh	99

13 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1	Vliv rychlosti na hladinu akustického tlaku [5].....	14
Graf 2	Vliv rychlosti na hluk ze silniční dopravy v závislosti na podílu nákladních vozidel [3].....	21
Graf 3	Vliv snížení intenzity dopravy [3].....	21
Graf 4	Hladiny hluku osobních a nákladních vozidel na dálničních površích [5].....	24
Graf 5	Hladiny hluku v závislosti na textuře pro osobní automobil jedoucí rychlostí 90 km/h [5]..	26
Graf 6	Mezerovitost v závislosti na objemu pojiva [15].....	44
Graf 7	Moduly zkoumaných SMA LA a obrusných vrstev PA (pro $f = 10$ Hz) [15].....	46
Graf 8	Normované doby životnosti zkoumaných variant [15].....	47
Graf 9	Čára zrnitosti frakce 5/8 mm.....	51
Graf 10	Čára zrnitosti vápencové moučky.....	52
Graf 11	Čára zrnitosti frakce 4/8 mm.....	53
Graf 12	Čára zrnitosti frakce 0/4 mm.....	54
Graf 13	Čára zrnitosti vápencové moučky.....	54
Graf 14	Výsledný návrh čáry zrnitosti směsi SMA 8 LA.....	56
Graf 15	Výsledný návrh čáry zrnitosti směsi SMA 8 LA.....	57
Graf 16	Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles 1 a 4 při zkoušce ITSR.....	86
Graf 17	Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles 2 a 3 při zkoušce ITSR.....	86
Graf 18	Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles 5 a 6 při zkoušce ITSR.....	86
Graf 19	Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles 2 a 6 při zkoušce ITSR.....	88
Graf 20	Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles 4 a 1 při zkoušce ITSR.....	88
Graf 21	Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles 3 a 5 při zkoušce ITSR.....	88
Graf 22	Průběh hloubky vyjeté koleje na desce č. 1.....	90
Graf 23	Průběh hloubky vyjeté koleje na desce č. 2.....	91
Graf 24	Průběh hloubky vyjeté koleje na desce č. 1.....	93
Graf 25	Průběh hloubky vyjeté koleje na desce č. 2.....	93
Graf 26	Závislost modulu tuhosti na teplotě a frekvenci zatěžování.....	98
Graf 27	Srovnání akustické pohltivosti několika vzorků se směsí SMA 8 LA (růžová barva).....	100

14 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VARAUS, Michal. *Nízkohlučené asfaltové koberce mastixové* [CD]. vyd. Asfaltové vozovky '11, České Budějovice, Pragoprojekt a. s., 2011 [cit. 2013-01-06].
- [2] Hluk a další fyzikální faktory. In: [online]. [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: www.zubrno.cz/studie/kap06.htm
- [3] Snižování hluku možnými úpravami obrusné vrstvy vozovky. In: MONDSCHNEIN, Petr a Jan Valentin. *Silnice železnice* [online]. 7.12.2010 [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/snizovani-hluku-moznymi-upravami-obrusne-vrstvy-vozovky/>
- [4] Automobilový hluk. In: GOTTVALDOVÁ, Jana. *Silnice železnice* [online]. 26.8.2011 [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/automobilovy-hluk/>
- [5] Moderní inženýrské řešení v silniční dopravě. In: *Zvýšení vědeckovýzkumného potenciálu pracovníků a studentů vysokých škol v oblasti dopravy a nových dopravních technologií* [online]. Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava, 2009 [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/170>
- [6] An introduction to tire/pavement noise of asphalt pavement. In: BERNHARD, Robert a Roger WAYSON. *Asphalt roads* [online]. [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: <http://asphaltroads.org/images/asphaltthequietpavement.ppt>
- [7] Hluk na styku pneumatika – vozovka. In: SMUTNÝ, Jaroslav, Luboš PAZDERA a Jana GOTTVALDOVÁ. *Silnice železnice* [online]. 18.1.2012 [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/hluk-na-styku-pneumatika-vozovka/>
- [8] Hluk z dopravy - Snižování hlukové zátěže ze silniční dopravy. In: KŘIVÁNEK, Vítězslav. *Centrum dopravního výzkumu* [online]. 2012 [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: www.cdv.cz
- [9] Přehled vlastností pohltivých protihlukových stěn na českém trhu. In: HELA, Rudolf. *Časopis stavebnictví* [online]. 2010 [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/prehled-vlastnosti-pohltivych-protihlukovych-sten-na-ceskem-trhu_N3475
- [10] Cementobetonové kryty. In: VARAOUS, Michal. *Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně*, 2012 [cit. 2013-01-06].
- [11] O GUMOASFALTU. In: *Gasfalt* [online], 2012 [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: <http://www.gasfalt.cz/index.php/cz/>

- [12] Využití gumoasfaltového pojiva do obrusných vrstev vozovek. In: KUDRNA, Jan a Ondřej DAŠEK. *Časopis stavebnictví* [online]. 2007 [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=277>
- [13] Asfaltové vrstvy s gumoasfaltovým pojivem. In: KUDRNA, Jan. *Stavitel* [online]. 1. 11. 2012 [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: <http://stavitel.ihned.cz/c1-58248480-asfaltove-vrstvy-s-gumoasfaltovym-pojivem>
- [14] Snižování dopravního hluku pomocí hutněných asfaltových vrstev. In: HÝZL, Petr a Vladimír ADAMEC. *Univerzita Komenského v Bratislave* [online]. 2012 [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: http://www.fns.uniba.sk/fileadmin/user_upload/editors/actaenvi/ActaEnvi_2012_Suppl_1/07_S_Hyzl_Adamec.pdf
- [15] GÄRTNER, Kerstin, Jan JÄHNIG a Andreas OTTO. Neueste Erkenntnisse zum lärmindernden Splittmastixasphalt - SMA LA. 16.6.2011, s. 22.
- [16] ČSN EN 12697-6. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa*. Prosinec 2007.
- [17] ČSN EN 12697-5. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti*. Prosinec 2007
- [18] ČSN EN 12697-8. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí*. Květen 2004.
- [19] ČSN EN 12697-12. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě*. Únor 2009.
- [20] ČSN EN 12697-23. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu*. Březen 2005.
- [21] ČSN EN 12697-22. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem*. Prosinec 2007.
- [22] ČSN EN 12697-26. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost*. Prosinec 2006.
- [23] NOVÁK, Jan. Akustické vlastnosti materiálů. [online]. [cit. 2013-01-06]. Dostupné z: <http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2004/Akusticke%20vlastnosti%20materialu-No.pdf>
- [24] DAŠEK, Ondřej. *Vliv míry zhutnění na funkční charakteristiky asfaltových směsí*. Diplomová práce, VUT v Brně. Říjen 2006
- [25] GOTTVALDOVÁ, Jana. Dopravní hluk. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 12.3.2012.