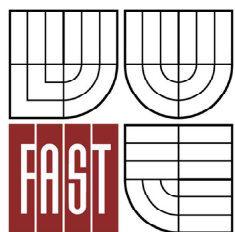




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

NÍZKOHLUČNÉ VOZOVKY

LOW - NOISE PAVEMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAN BÁRTA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR HÝZL, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Jan Bárta
Název	Nízkohlučné vozovky
Vedoucí diplomové práce	Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013

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

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
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

Internetové zdroje

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 laboratornímu návrhu nízkohlučných obrušných vrstev a stanovení jejich vybraných parametrů.

Předepsané přílohy

.....

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

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou nízkohlučných vozovek. V teoretické části je popsán dopravní hluk, zdroje hluku, nízkohlučné povrchy vozovek. Praktická část se zabývá dvěma konkrétními návrhy - nízkohlučného asfaltového koberce mastixového SMA 8 LA a düsseldorfskou asfaltovou směsí LOA 5.

Klíčová slova

hluk, dopravní hluk, zdroje hluku, nízkohlučné obrusné vrstvy vozovek, nízkohlučný asfaltový koberec mastixový SMA 8 LA, düsseldorfský nízkohlučný asfaltový koberec LAO 5.

Abstract

Master's thesis describes the problems of low-noise road surfaces. The theoretical part describes traffic 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 and Düsseldorf low-noise stone asphalt LOA 5.

Keywords

noise, traffic noise, sources of noise, low-noise road surfaces, low-noise stone mastic asphalt SMA 8 LA, Düsseldorf low-noise stone asphalt LOA 5

Bibliografická citace VŠKP

BÁRTA, Jan. *Nízkohlučné vozovky*. Brno, 2014. 101 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 17.1.2014

.....

podpis autora

Jan Bárta

Tímto bych chtěl vyjádřit poděkování Ing. Petru Hýzlovi, Ph.D., doc. Dr. Ing. Michalovi Varausovi, Pavlu Strakovi, Matěji Šafránkovi a všem zaměstnancům školní laboratoře VUT FAST v Brně za pomoc při zpracovávání 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	14
3	VLIV POVRCHŮ NA DOPRAVNÍ HLUK.....	18
3.1	Textura povrchu	18
3.2	Mezerovitost	19
3.3	Tuhost.....	20
4	Možná řešení snižování hlukové zátěže	21
4.1.1	Urbanisticko-architektonická protihluková opatření	21
4.1.2	Urbanisticko-dopravní protihluková opatření.....	21
4.1.3	Dopravně-organizační protihluková opatření	22
4.1.4	Stavebně-technická protihluková opatření.....	23
5	NÍZKOHLUČNÉ POVRCHY VOZOVEK	25
5.1	Tuhé vozovky.....	25
5.1.1	Vymývaný beton.....	25
5.1.2	Cementobetonový kryt vozovky s výbrusy.....	26
5.1.3	Texturování cementobetonového krytu vozovky před jeho zatvrdnutím	27
5.1.4	Nátěrové technologie	28
5.2	Netuhé vozovky	29
5.2.1	Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy (BBTM)	29
5.2.2	Asfaltové směsi modifikované pryžovým granulátem (CRmB)	30
5.2.3	Asfaltové koberce drenážní (PA)	31
6	NÍZKOHLUČNÉ ASFALTOVÉ KOBERCE MASTIXOVÉ (SMA LA)	34
6.1	Zkušenosti se SMA LA – stavební práce	34
6.1.1	Provedení.....	35
6.1.2	Zkoušky	37
6.2	Aktuální výsledky výzkumu.....	38
6.2.1	Optimalizace složení směsi – výsledky	38
6.2.2	Odhad doby životnosti obrusných vrstev SMA-LA	40
6.3	Shrnutí	41
7	SMĚS typu LOA 5 (LärmoptimierteAsphaltdeckschicht)	44
7.1	Pokládka směsi LOA 5.....	44

7.2	Výsledky technického měření na zkušebním úseku	45
7.2.1	Posouzení výsledků.....	46
7.2.2	Shrnutí a výhled	47
8	PRAKTICKÁ ČÁST - POUŽITÉ MATERIÁLY	48
8.1	SMA 8 LA - pojivo.....	48
8.1.1	COLFLEX – dodavatel COLAS.....	48
8.1.2	Modifikační přísada MODICEL	48
8.2	LOA 5 – Pojivo.....	49
8.2.1	Dodavatel TOTAL 50/70.....	49
8.3	SMA 8 LA - Kamenivo	50
8.3.1	SMA 8 LA.....	50
8.4	LOA 5 - Kamenivo	52
8.4.1	LOA 5 – návrh 1	52
9	NÁVRH SMĚSI	55
9.1	Návrhy směsí SMA 8 LA a LOA 5.....	55
9.1.1	SMA 8 LA.....	55
9.1.2	LOA 5D – návrh	56
9.2	Laboratorní výroba směsi SMA 8 LA.....	57
9.3	Výroba zkušebních těles.....	58
9.3.1	Marshallova tělesa	58
9.3.2	Marshallova tělesa na zkoušku ITSr.....	60
9.3.3	Desky pro stanovení odolnosti proti tvorbě trvalých deformací	61
9.3.4	Komolý klín (trapezoid) pro stanovení modulů tuhosti.....	63
9.4	Výroba směsi LOA 5	64
9.5	Výroba zkušebních těles.....	64
9.5.1	Marshallova tělesa	64
9.5.2	Deska	65
10	ZKUŠEBNÍ METODY.....	66
10.1	ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa	66
10.1.1	Podstata zkoušky	66
10.1.2	Zkušební zařízení a pomůcky.....	66
10.2	ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa - objemová hmotnost podle rozměrů	66
10.2.1	Definice.....	66

10.2.2	Zkušební zařízení a pomůcky.....	66
10.2.3	Postup zkoušky	66
10.2.4	Výpočet objemové hmotnosti podle rozměrů	67
10.3	ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa - nasycený suchý povrch.....	67
10.3.1	Zkušební zařízení a pomůcky.....	67
10.3.2	Postup zkoušky	67
10.3.3	Výpočet objemové hmotnosti – nasycený suchý povrch	68
10.4	ČSN EN 12697-5 Stanovení maximální objemové hmotnosti	68
10.4.1	Definice - maximální objemová hmotnost	68
10.4.2	Zkušební zařízení a pomůcky.....	68
10.4.3	Postup zkoušky	68
10.4.4	Výpočet maximální objemové hmotnosti	70
10.5	ČSN EN 12697-8 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí	70
10.5.1	Definice.....	70
10.5.2	Výpočet mezerovitosti.....	70
10.6	ČSN EN 12697-12 Stanovení odolnosti zkušební tělesa vůči vodě.....	71
10.6.1	Definice.....	71
10.6.2	Zkušební zařízení a pomůcky.....	71
10.6.3	Příprava zkušebních těles.....	72
10.6.4	Temperování zkušebních těles.....	72
10.6.5	Postup zkoušky	72
10.6.6	Výpočet pevnosti v příčném tlaku ITS	73
10.6.7	Výpočet odolnosti vůči vodě	73
10.7	ČSN EN 12697-22 Zkouška pojíždění kolem	74
10.7.1	Zkušební zařízení a pomůcky.....	74
10.7.2	Postup zkoušky	74
10.7.3	Výpočet a vyhodnocení zkoušky	75
10.8	ČSN EN 12697-26 Tuhost.....	75
10.8.1	Definice.....	75
10.8.2	Zkušební zařízení a pomůcky.....	75
10.8.3	Měření komplexního modulu tuhosti.....	76
10.8.4	Postup zkoušky	76
10.9	Měření akustické pohltivosti	77

10.9.1	Akustická pohltivost	77
10.9.2	Impedanční trubice.....	77
11	VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK	79
11.1	Vyhodnocení objemové hmotnosti a maximální objemové hmotnosti.....	79
11.1.1	SMA 8 LA.....	79
11.1.2	LOA 5	80
11.2	Vyhodnocení mezerovitosti.....	81
11.2.1	SMA 8 LA.....	81
11.2.2	LOA 5D	81
11.3	Vyhodnocení zkoušky odolnosti vůči vodě (ITSR)	82
11.3.1	SMA 8 LA.....	82
11.4	Vyhodnocení komplexních modulů tuhosti a odolnosti proti trvalým deformacím	86
11.4.1	SMA 8 LA.....	86
11.5	Vyhodnocení zkoušky měření komplexních modulů tuhosti	87
11.5.1	SMA 8 LA.....	88
11.6	Vyhodnocení měření akustické pohltivosti	90
12	ZÁVĚR	92
13	SEZNAM OBRÁZKŮ	93
14	SEZNAM TABULEK	95
15	SEZNAM GRAFŮ.....	96
16	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	98
17	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	101

1 ÚVOD

Hluk je neoddiskutovatelnou součástí našich životů, aniž si to mnohdy uvědomujeme. Působí na náš organismus po fyzické i po psychické stránce. Hygienické předpisy stanovují nejvyšší možné limity hluku v budovách přes den 40dB a v noci 30dB, kdy právě hladina hluku do 30dB je optimální zvukové prostředí pro člověka. Neustálá zvyšující se intenzita dopravy má za následek zvýšení hlukové zátěže. Auta, letadla, vlaky nutí společnost řešit tento problém přímo v intravilánu. Jestliže není možné tuto situaci řešit jako v extravilánu pomocí protihlukových stěn a valů v požadované lokalitě z důvodu prostorové dispozice městské zástavby, kladou se vyšší požadavky na pokládku asfaltových krytů vozovek, které snižují hluk svojí strukturou. [3]

V současné době existuje několik technologií konstrukčních vrstev vozovky, které lze označit jako nízkohlučné - asfaltový koberec drenážní (PA), nízkohlučný asfaltový koberec mastixový (SMA LA) a takzvaná „düsseldorfská asfaltová směs“ (LOA 5) a další. Hlavní funkcí drenážního koberce je odvod vody z povrchu vozovky a to díky struktuře směsi, která má velkou mezerovitost. Díky tomu se snižuje riziko aquaplaningu a hladina hluku. Tento povrch je ale velice náročný na udržování a bez správné údržby ztrácí jak drenážní tak protihlukovou funkci. Oproti tomu směsi SMA LA a LOA 5 mají bezproblémovou údržbu, delší akustickou životnost a nenáročnou technologii výroby asfaltové směsi oproti drenážnímu koberci.

Jestliže navrhujeme v extravilánu, můžeme použít prakticky všechny z rozvíjených nízkohlučných krytů – od drenážních koberců po uzavřené obrusné vrstvy s malou mezerovitostí, avšak optimalizovanou strukturou povrchu. Pokud budeme hovořit o místních komunikacích, nalezneme jistá úskalí, která se objevují především v možnostech pokládky:

- pravděpodobnost pozdějších výkopů v důsledku oprav nebo provádění nových inženýrských sítí
- odlišná dopravní situace, kde je řada míst, kdy dochází ke změně směru jízdy, malé oblouky v křižovatkách, místa zpomalování, brzdění a zrychlování, čímž vznikají velké horizontální síly.

Na těchto komunikacích je vhodné aplikovat obrusné vrstvy s upravenou texturou, které jsou méně náchylné na působení mechanického namáhání. Tomu nejlépe vyhovují mastixové asfaltové nízkohlučné koberce či některé speciální úpravy směsi.

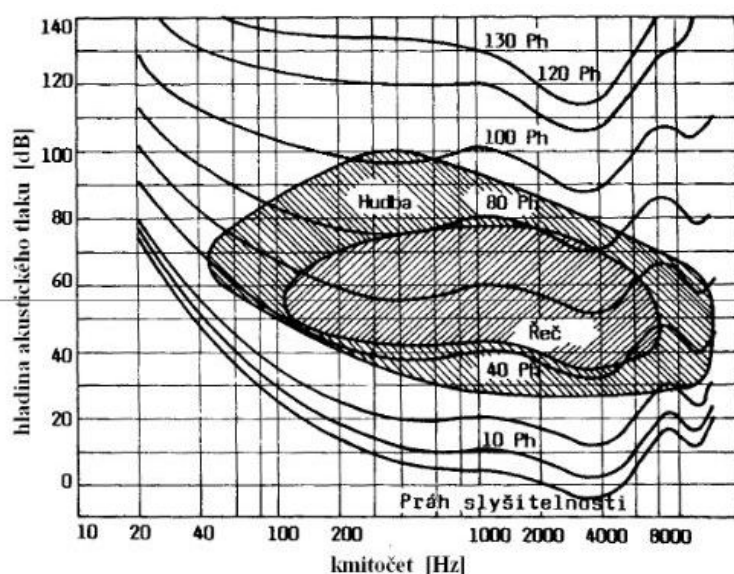
[1] [3] [5]

2 PROBLEMATIKA DOPRAVNÍ HLUČNOSTI

2.1 Hluk jako faktor životního prostředí

Hluk na člověka působí škodlivě a to vedlo mnoho zemí k sestavení řady zákonů, norem a předpisů chránících obyvatele před nadměrným hlukem a vibracemi. Vyspělé společnosti kladou velký důraz na znečištění prostředí. Hluk je řazen za ochranu čistoty ovzduší a ochranu povrchových vod. Zvuk je běžný jev, vyskytující se ve všech oblastech našeho žití. Hluk nemusí být vždy pro všechny nežádoucí. Těžko hledat obecně platnou hranici, protože kde je pro někoho zvuk již obtížným hlukem, může být pro druhého důležitým zdrojem informací. Nejzávažnější vlastnost hluku je, že šíření probíhá na velké vzdálenosti, kdy můžeme hovořit i o stovkách metrů. Šíří se vzduchem, vodou, ale i pevnou hmotou jako např. konstrukcí budov. Za určitých podmínek můžeme akustické vlnění, v podobě např. hluku lomit, ohýbat a odrážet.

Intenzita je základním určujícím účinkem hluku. Jestliže se podíváme na intenzitu od spodní hranice, tak příliš nízká hladina je pro člověka nepříjemná. Už hodnota okolo 20dB je považována za hluboké ticho. Hladina 30dB je člověku příjemná. Půjdeme-li na opačnou stranu, tak nepříjemné prostředí je okolo 65dB a projevuje se poruchami spánku, hypertenzí (vysoký krevní tlak), infarktem myokardu, stresy, neurózami, chorobnými změnami krevního tlaku. Trvalým pobytem v prostředí s intenzitou hluku nad 85dB mohou vznikat nezvratné poruchy sluchu. Proti nadměrnému světelnému záření máme možnosti zavřít oční víčka, ale neumíme se přirozeně bránit proti účinkům hluku, takže zvuk o síle 130dB vytváří akustický tlak bolestivý pro náš organizmus. [6]

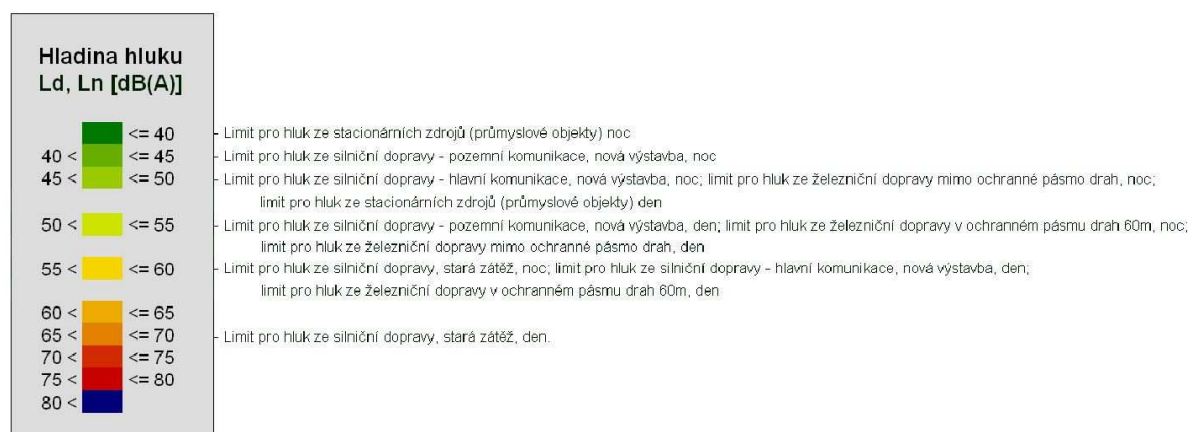


Graf 1 Hladina akustického tlaku [6]

2.2 Dopravní hluk

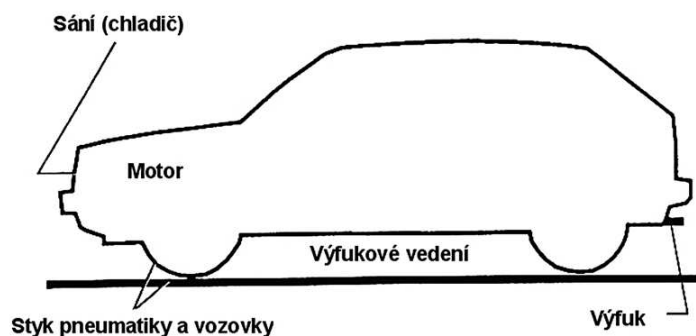
Dopravním hlukem označujeme hluk automobilový, kolejový a hluk z leteckého provozu. Z důvodu velice husté silniční sítě nás nejvíce zajímá právě automobilový hluk. Hluk způsobený automobilem lze rozdělit na vnitřní a vnější hluk. Vnitřní hluk se vyskytuje uvnitř dopravního prostředku a je tvořen hnacím ústrojím vozidla nebo jízdou po vozovce. Obtěžuje obsluhu vozidla a cestující. Oproti tomu vnější hluk obtěžuje obyvatele podél pozemních komunikací. Tento hluk podléhá hygienickým předpisům a normovým podkladům. Nejvyšší přípustné hodnoty hluku z nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací se stanoví součtem základní hladiny hluku $L_{Aeq,T}50dB$ a příslušné korekce pro denní nebo noční dobu a místo.

[4] [8]



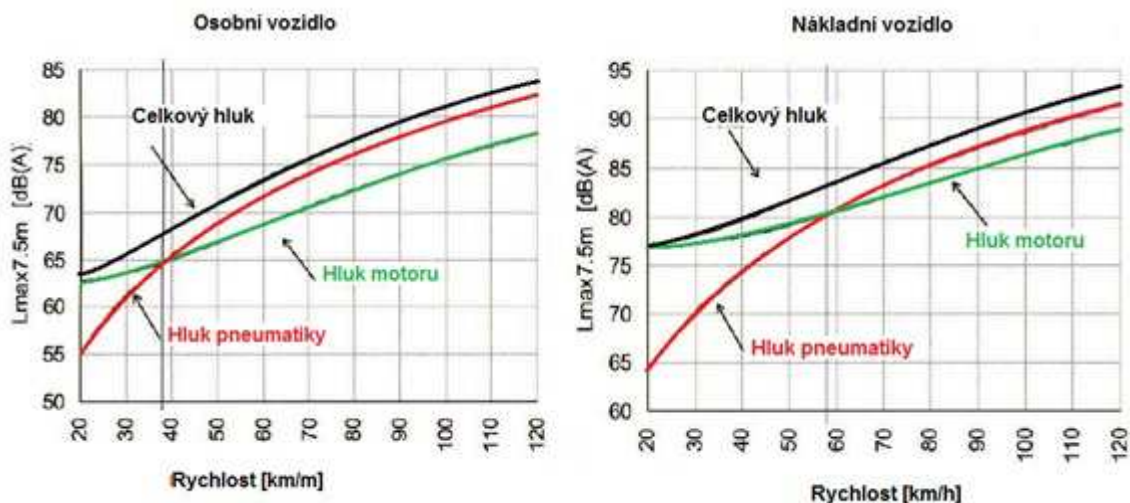
Obr. 1 Hygienické limity [8]

Česká republika se na ochranu proti hluku zaměřuje již řadu let, především na snižování hlukových emisí – budování protihlukových clon a valů. Tato opatření jsou funkční pouze v bezprostřední blízkosti pozemní komunikace a bezesporu ovlivňují ráz krajiny, vnímání člověka včetně jeho psychiky a esteticky. Lze využít další možnost snížení emisí hluku, a to použitím protihlukových oken. Nelze hovořit o stoprocentní ochraně, a ještě je funkční pouze při zavřených oknech. Hovoříme-li o aktivní ochraně, myslíme tím snížení hluku přímo v jeho místě vzniku. To je rukavice hozená výrobcům automobilů, kterou aktivně sebrali již před dvaceti lety a zaměřují se na snížení hluku v oblastech motoru, sání, výfuku, převodového ústrojí, hluku při kontaktu pneumatika-povrch vozovky a aerodynamického hluku, který se projevuje při vysokých rychlostech. Nutno neopomenout v této souvislosti rozvoj elektromobilů nebo hybridních automobilů, které se dostávají do popředí zájmu široké veřejnosti a lze, předpokládat nárůst zájmu v této oblasti.



Obr. 2 Zdroje hluku z dopravy produkované automobilem[3]

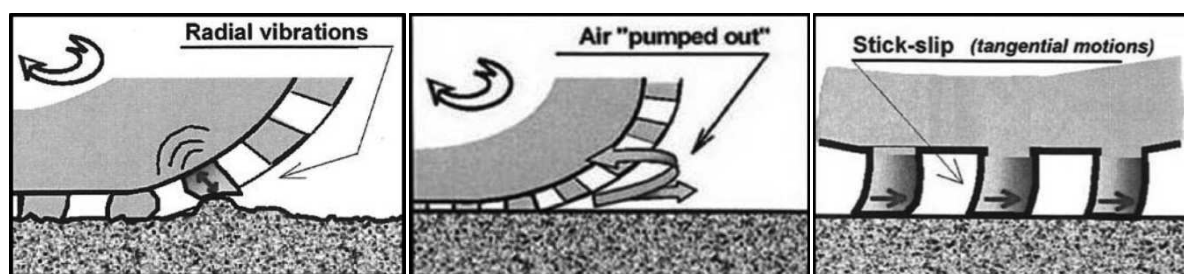
V rámci České republiky, kde jak už bylo řečeno, nejvýznamnější podíl silniční infrastruktury tvoří asfaltové kryty, existuje dostatek prakticky ověřených technologických řešení, jak snižovat hluk vznikající silniční dopravou a tím zlepšovat životní podmínky a komfort. I v Československu na přelomu 70. a 80. let byl pokus o aplikaci drenážních koberců, ale výsledky nebyly nepřesvědčivé. Nyní máme možnost čerpat z bohatých zkušeností Nizozemska nebo Německa. V Holandsku se ukazuje, že výraznějšího efektu snížení hlukových emisí od dopravy, lze dosáhnout vyšší mezerovitostí obrusné asfaltové vrstvy nebo vhodnou makrotexturou povrchu. Bavíme se zde o snížení o 4-7dB po dobu 8 - 10 let. U nově používané generace drenážních asfaltových koberců lze snížit hlučnost až o 8dB. Pochopitelně nelze brát výsledky dogmaticky a je potřeba mít na paměti, že je důležité zohlednit obecné předpoklady pro technologii upravených obrusných vrstev. Takzvaný valivý hluk se stává dominantní teprve při rychlostech mezi 30 a 40 km/h. Je také nezbytné zohlednit celoroční klimatické podmínky. Jestliže v rovinatém Holandsku funguje technologie drenážních koberců, neznamená to, že stejně funkční bude i v hornatých oblastech s častým sněžením a rozdílným klimatem. Důležité je nepřeceňovat mezerovitost směsi a spíše hledat vyváženost mezi texturou povrchu a mezerovitostí, klást dostatečnou pozornost a důraz na volbu vhodných asfaltových pojiv i kameniva a dbát na vyšší pružnost, lepivost a homogenitu a nižší tendence k rychlejšímu stárnutí. Velice důležité je kontrolovat na největší možné úrovni technologický postup a kázeň a nepřipustit snahy o co nejlevnější řešení. Protože konkrétně u této skupiny technologií neplatí „za méně peněz více muziky“. Je potřeba počítat s aplikací modifikovaných typů asfaltových pojiv a s nezbytností dodržení mírně zvýšeného dávkování pojiva v porovnání s klasickými typy asfaltových směsí. Z uvedených předpokladů vyplývá, že je nutné věnovat pozornost komplexně všem činitelům pro účinné snižování hlukové zátěže ze silniční dopravy, protože není dominantní a jednoznačná převaha jednoho prvku. Klíčové jsou střední a vyšší rychlosti a s tím se pojí problém styku pneumatiky s mikrotexturou a makrotexturou povrchu. Z hlediska protismykových vlastností na styku pneumatika-vozovka je důležitá mikrotextura a makrotextura hraje významnou roli z hlediska drenážní funkce obrusné vrstvy.



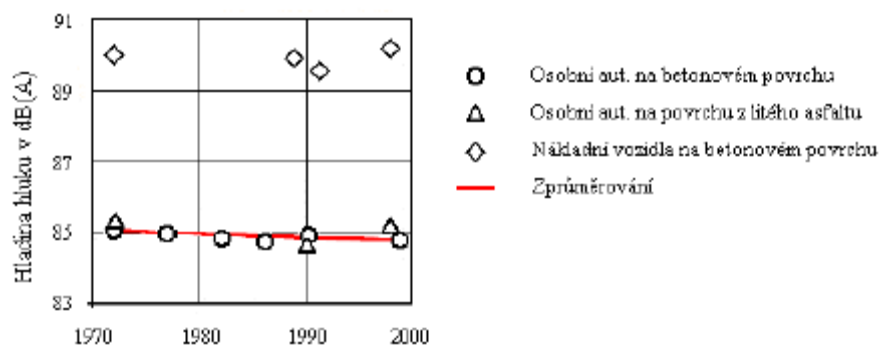
Graf 2 Vliv rychlosti na silu akustického tlaku [5]

Mechanismy, které ovlivňují do značné míry vznik a šíření valivého hluku na základě určení povrchu vozovky:

- **Air pumping (sání vzduchu)** – v místě styku vozovky s dezénem pneumatiky. Do drážek dezénu je postupným otáčením nasáván vzduch a následným zvyšováním tlaku vzduch vytlačován. Dále se dostává prvek běhounu do původní velikosti. Rychlý pochyb běhounu způsobuje radiální a tangenciální vibrace pneumatiky. Bavíme se zde o rozsahu vysokých frekvencí 1000-2000Hz
- **Tření mezi pneumatikou a povrchem** – v kontaktní zóně pneumatika – vozovka, dochází při částečném přizpůsobování se pneumatiky povrchu vozovky k tření mezi povrchy, které nazýváme hysterezní tření. Smykové tření je způsobováno zrychlováním nebo brzděním, kdy dochází k přenosu tahové síly z vlastní pneumatiky do povrchu vozovky.
- **Radiální oscilace** - při pohledu na pneumatiku vidíme systém drážek neboli vzorek, který se nazývá dezén. Kontaktem dezénových bloků a vozovky vzniká hluk, podobně jako při nárazu gumové palice. Při nejnižších frekvencích dosahuje tato složka hluku nejvyšší amplitudy, především v intervalu nízkých frekvencí 500-1000Hz
- **Změna hluku pneumatik** - při vysokých rychlostech se hluk z valení pneumatik mění, ale je opět, jako u nízkých rychlostí, ovlivněn parametry konstrukce pneumatik-šířka, typ profilu, ale také sem vstupuje povrch vozovky - otevřený nebo uzavřený. Na Grafu 3 je vidět průměrná hladina hluku z projíždějících osobních a nákladních vozidel naměřena na povrchu litéhoasfaltu (MA) a betonových krytech. Je patrné, že hluk tvořící se od pneumatik se prakticky nezměnil. Z toho nepřímo vyplývá, že při výrobě pneumatik již byly brány v potaz poznatky z opatření ke snížení hluku. Zde je potenciál na snížení dopravního hluku malý. Je tedy třeba se věnovat návrhu vlastní vozovky, aby se přispělo ke znatelnému snížení hluku.[3]



Obr. 3 Radiální oscilace, air pumping, tření[4]



Graf 3 Hladiny hluku osobních a nákladních vozidel na dálničních površích [5]

3 VLIV POVRCHŮ NA DOPRAVNÍ HLUK

Jak již bylo zmíněno, automobilový průmysl udělal za poslední dobu velký pokrok ve snižování hluku, který je způsobován především hnací jednotkou, a proto se teď obrátil zájem na snižování hluku od styku pneumatika-vozovka. Již výše bylo zmiňováno, že potenciál snížení hluku od pneumatik je malý, tudíž je pouze jediná logická možnost jak eliminovat hluk. A to použitím nízkohlučných povrchů a úpravou jejich parametrů ovlivňující hluk.

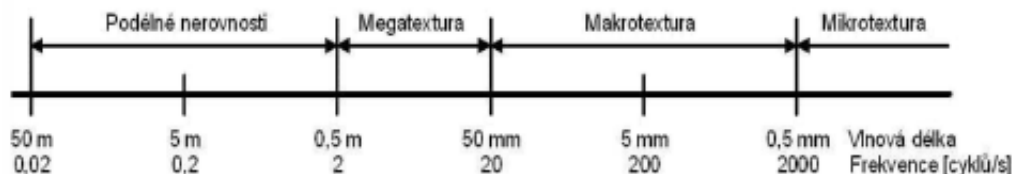
3.1 Textura povrchu

Na protismykové vlastnosti a hlučnost má největší vliv textura povrchu, která je dána mikrotexturou povrchu kameniva a makrotexturou povrchu vozovky.

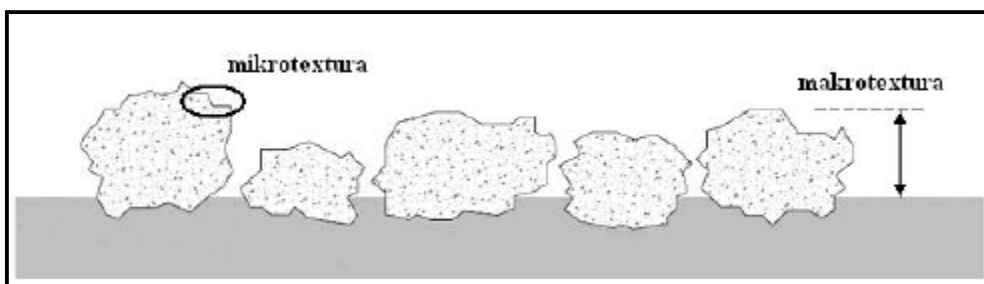
- **Mikrotextura** je odchylka povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu s charakteristickými rozměry menšími než 0,5 mm a v rozmezí vlnové délky do 0,5 mm. Je určena velikostí a tvarem výstupku jednotlivých zrn použitého kameniva. Má vliv na protismykové vlastnosti v celém rozmezí rychlostí.
- **Makrotextura** 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.

Jestliže se zvýší vlnová délka textury o 0,5-10 mm, hluk klesá 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, hladina hluku zejména v oblasti pod 1 kHz se také zvyšuje. Čím je délka textury větší, tím intenzivnější budou nárazy bloků běhounu do povrchu vozovky.

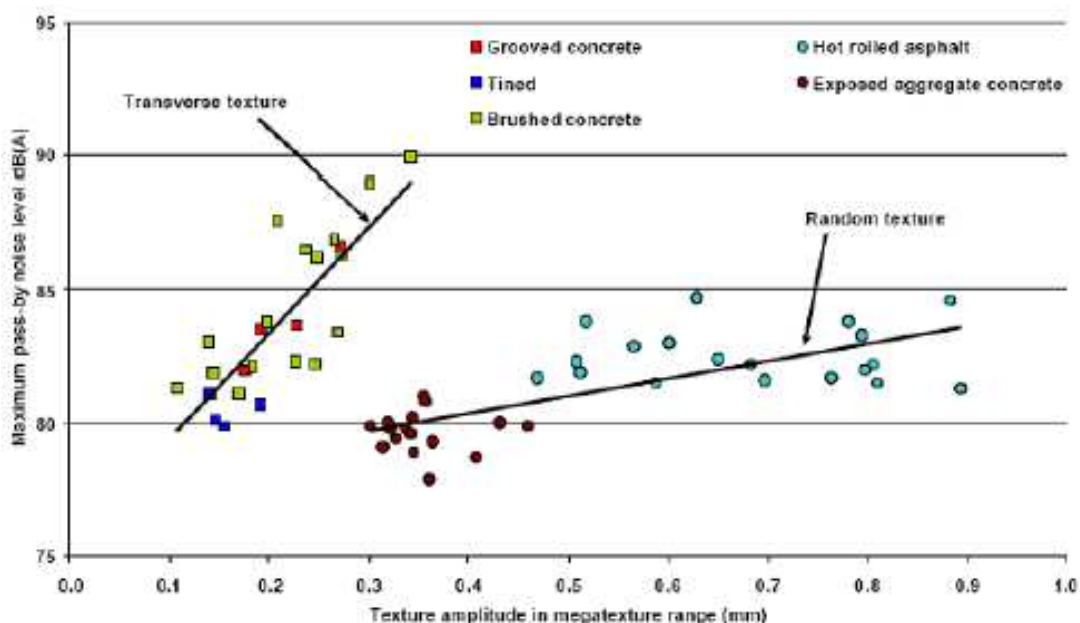
Na Grafu 4 je zobrazeno, že náhodná (random) textura povrchu je z akustického hlediska příznivější než podélná (transverse) textura. [5]



Obr. 4 Rozdělení textury a nerovností povrchu vozovky z hlediska délky vlny [5]



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

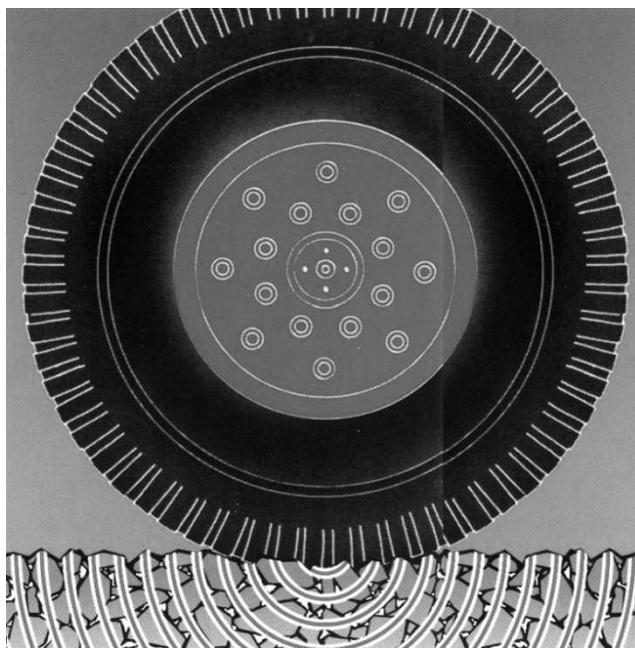


Graf 4 Hladiny hluku v závislosti na textuře pro osobní automobil jedoucí rychlostí 90 km/h [5]

3.2 Mezerovitost

Zvýšení mezerovitosti směsi tvořící povrch vozovky má vliv na redukci stlačování a rozpínání vzduchu ve vzorku pneumatiky a tím se omezuje aerodynamický hluk, jak je známo u drenážních koberců. Mezerovitost má také vliv na pohltivost zvukové energie a na snížení „horn efektu“. Jsou zde i další parametry ovlivňující snižování dopravního hluku:

- tloušťka vrstvy – větší tloušťka vrstvy posouvá vlastní frekvenci a její násobky (oblast 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 ve vrstvě – vzduch prochází systémem propojených pórů. Čím více bude zakroucená cesta vzduchu, tím nižší bude frekvence maximální absorpce. [5]



Obr. 6 Mezerovitost ovlivňující snižování hluku od dopravy[3]

3.3 Tuhost

Tuhost je vlastnost vozovky, která má vliv na hluk způsobený nárazy běhounu kol automobilu do povrchu vozovky. Snížením tuhosti vozovky se redukuje síla jejich nárazů a tím se také omezují vibrace pneumatiky. [5]

4 Možná řešení snižování hlukové zátěže

Je celá řada protihlukových opatření. Je jen otázkou, do jaké míry jsou účinná a jaký mají efekt v kombinaci s dalšími prvky snižování hlukové zátěže. Zatím byla uvedena takzvaná aktivní opatření (technická opatření u vozidel, protihlukové clony, omezení intenzity provozu, nízkohlučné povrchy vozovek, apod.) a dále tu máme pasivní opatření, do kterého spadají veškerá zlepšení a úpravy budov. Obecně lze snižování hlukové zátěže od dopravy rozdělit na:

- urbanisticko-architektonická protihluková opatření,
- urbanisticko-dopravní protihluková opatření,
- dopravně-organizační protihluková opatření,
- stavebně-technická protihluková opatření. [5]

4.1.1 Urbanisticko-architektonická protihluková opatření

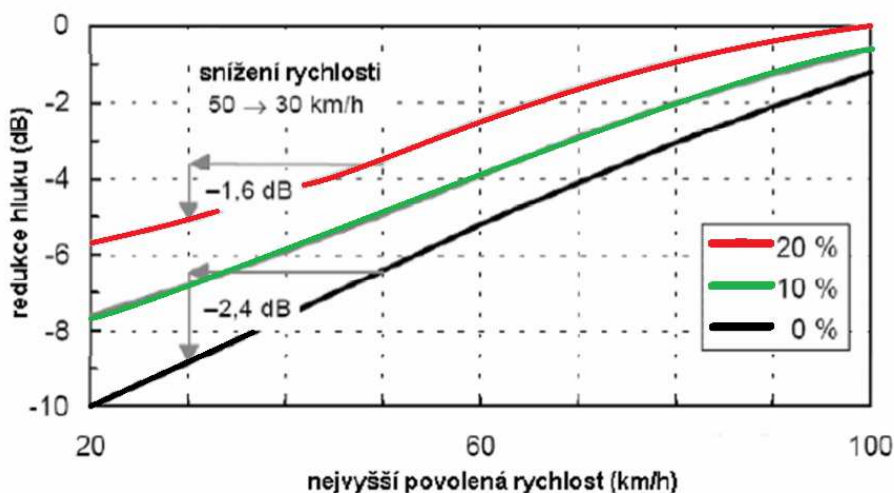
Opatření urbanisticko-architektonické řešíme v momentu, kdy navrhujeme a tvoříme novou koncepci komunikací a zástavby. Jednak řešíme komplexní řešení obytných souborů z hlediska funkčního uspořádání. Doporučuje se bloková zástavba a dislokace objektů podle jejich účelu. Objekty nenáročné na protihlukovou ochranu umísťujeme ke komunikaci. Výškovým řešením lze docílit zvukového stínu a také je důležité zabývat se průčelím a celkovým tvarem budov. Dispoziční rozmístění obytných prostor se musí brát také v potaz, na stranu komunikace neumísťujeme ložnice a obývací pokoje.[5]

4.1.2 Urbanisticko-dopravní protihluková opatření

Vyloučit tranzitní a nákladní dopravy z obytných zón a center obcí je jedno ze základních opatření. Neumísťovat rychlostní komunikace do těsné blízkosti obytných zón a areálů požadujících vyšší nároky na protihlukovou ochranu. Těžkou nákladní dopravu a rychlostní tranzitní dopravu sdružovat do hlavních tras, kde je možné aplikovat protihluková opatření nebo ji rovnou odklonit od problémových míst. Upřednostňovat MHD. Neumísťovat dopravní plochy (např. parkoviště, shromaždiště městské hromadné dopravy, nádraží, letiště) u zdravotních, školních, obytných a i rekreačních zón. 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. Vytvářet klidové zóny s vyloučenou automobilovou dopravou a s časově omezeným vjezdem vozidel pro zásobování. [5]

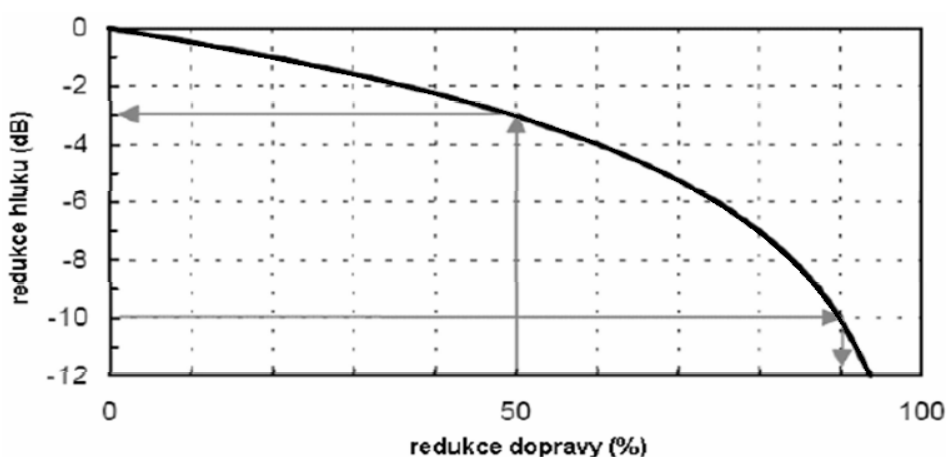
4.1.3 Dopravně-organizační protihluková opatření

Osvědčeným opatřením je omezení rychlosti jen nákladních vozidel nebo všech automobilů, viz. Graf 5. Aplikované metody musí zajistit plynulost dopravy a neagresivní styl jízdy, můžeme tedy omezit lokálně rychlost.



Graf 5 Vliv rychlosti na hluk ze silniční dopravy v závislosti na podílu nákladních vozidel [5]

Máme i další možnosti jak redukovat rychlost a to zklidňujícími prvky jako jsou příčné prahy, zúžení komunikace, pruhy pro důraznější uvědomění si rychlosti nebo zklidňující šikany. Je možnost omezit rychlost v nočních hodinách a snížit intenzitu nákladní dopravy, zásobování do vybraných částí města, zřizování objížděk a určení jednosměrných ulic. Dále můžeme plynulost dopravy zvýšit koordinací pomocí světelných křižovatek s dynamickým cyklem a vypínáním signalizačních systémů v nočních hodinách, separací některých druhů dopravy např. autobusy, cyklistické dopravy.



Graf 6 Vliv snížení intenzity dopravy [5]

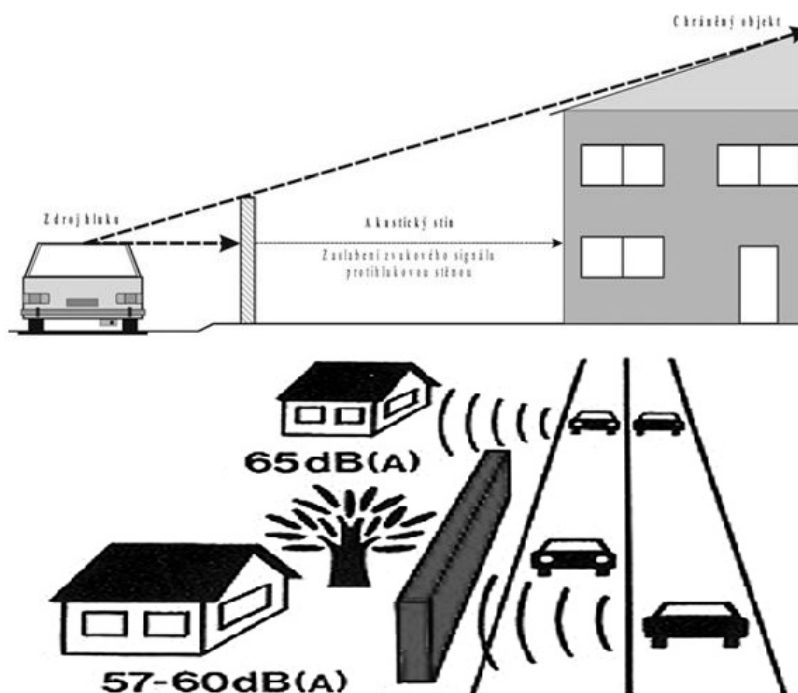
Na grafu 6 je znázorněno snížení hluku od dopravy vlivem odklonu dopravy. Abychom zmenšily hladinu hluku o 3dB stačí snížit dopravní zatížení na polovinu. K subjektivnímu snížení hladiny hluku od dopravy o polovinu (-10dB) je potřeba dostat dopravu na 10% původního stavu. I toto má své úskalí, intenzita dopravy úzce souvisí s rychlostí, a jestliže snížíme intenzitu, obvykle se zvýší rychlost. Proto vždy nemusí být dosaženo optimálního přínosu pro dopravní proud. [5]

4.1.4 Stavebně-technická protihluková opatření

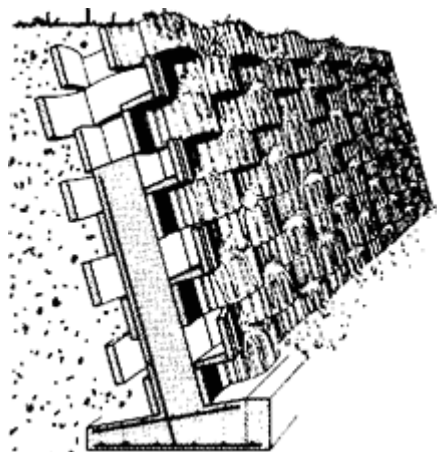
Vedení trasy v zářezu je z hlediska ochrany proti dopravnímu hluku vhodné řešení. Podobného účinku lze dosáhnout kombinací protihlukových clon a protihlukových zemních valů. Zlepšení tlumicího efektu lze dosáhnout pomocí ozelenění svahu. Je nutno zvážit jak budou esteticky zapadat protihlukové ochrany do krajiny a jak ovlivní její ráz. Jestliže je komunikace vedena po estakádě či náspu, je takřka nutností vybudování protihlukových stěn. Trasa vedoucí tunelem je pochopitelně z hlediska hladiny dopravního hluku nejvýhodnější. Již v kapitole dopravně-organizační protihluková opatření bylo uvedeno, že k zvýšení plynulosti dopravy a tím i snížení dopravního hluku je možnost využití koordinace dopravy pomocí světelně řízených křižovatek s dynamickým cyklem.[10]

Příklady tří druhu protihlukových stěn, s kterými se můžeme setkat v praxi:

- Prefabrikované stěny kombinované s vegetací
- Pevné stěny betonové či keramické
- Montované protihlukové stěny



Obr. 7 Princip fungování protihlukových stěn [3] [9]



Obr. 8 Prefabrikované stěny kombinované s vegetací [13]



Obr. 9 Protihluková stěna pevná betonová [24]



Obr. 10 Protihluková stěna montovaná [26]

5 NÍZKOHLUČNÉ POVRCHY VOZOVEK

V technické části diplomové práce se blíže zabývám směsí nízkohlučného asfaltového koberce mastixového (SMA LA) a takzvané nízkohlučné „düsseldorfské asfaltové směsi“ v německém jazyce nazývané Lärmoptimierte Asphaltdeckschicht (LOA), proto se na ně dále podrobněji zaměřím, ale existuje řada dalších nízkohlučných povrchů, které jen krátce zmíním:

Úpravy tuhých vozovek:

- Vymývaný beton
- Cementobetonový kryt vozovky s výbrusy
- Texturování cementobetonového krytu vozovky před jeho zatvrdnutím
- Nátěrové technologie

Úpravy netuhých vozovek:

- Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy (BBTM)
- Asfaltové směsi modifikované pryžovým granulátem (CRmB)
- Asfaltové koberce drenážní (PA)
- Asfaltové koberce mastixové (SMA)
- Düsseldorfská nízkohlučná asfaltová směs (LOA)

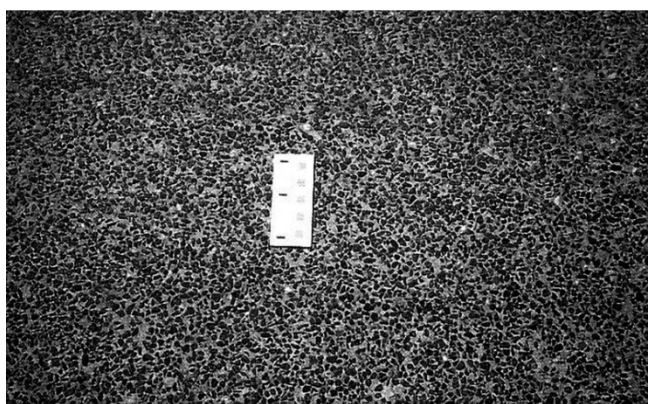
5.1 Tuhé vozovky

5.1.1 Vymývaný beton

Tuhé kryty betonových konstrukcí jsou uzavřené vrstvy bez výrazné makrotextury. Aby bylo docíleno zlepšení protihlukových vlastností je potřeba provést vhodné úpravy a postupy. Makrotextura a megatextura se upravuje hladicí lištou, která urovnává příčné zvlnění. K docílení finálních úprav se používá vlečená juta, která ovšem snížení hluku zajišťuje pouze v počátku. Bylo nutné přijít s novou technologií a to s vymývaným betonem. Technologie je založena na aplikaci kombinovaného postřiku po položení dvouvrstvého krytu. Vodě je tím zabraňováno v odpařování z čerstvého betonu a současně zpomaluje hydrataci v povrchové vrstvičce betonu. Další možností je nanesení zpomalovače tuhnutí na nezatvrdlý povrch cementobetonového krytu se zakrytím povrchu fólií. Po zatvrdnutí se vrchní vrstva cementového pojiva vykartáčuje speciálními kartáčovacím strojem nebo vymyje tlakovou vodou. Oproti referenčnímu asfaltovému krytu je vymývaný beton o 3dB méně hlučný. Je zde také možnost udělat ekonomickou variantu celého řešení. Ta spočívá v provedení krytu ve dvou vrstvách, s tím že do spodní vrstvy využijeme levnější kamenivo a do horní vrstvy důležité pro texturu se použije dražší, kvalitnější kamenivo. [3] [5]



Obr. 11 Speciální vymetací kartáč [27]



Obr. 12 CB kryt s vymývaným povrchem [3]

5.1.2 Cementobetonový kryt vozovky s výbrusy

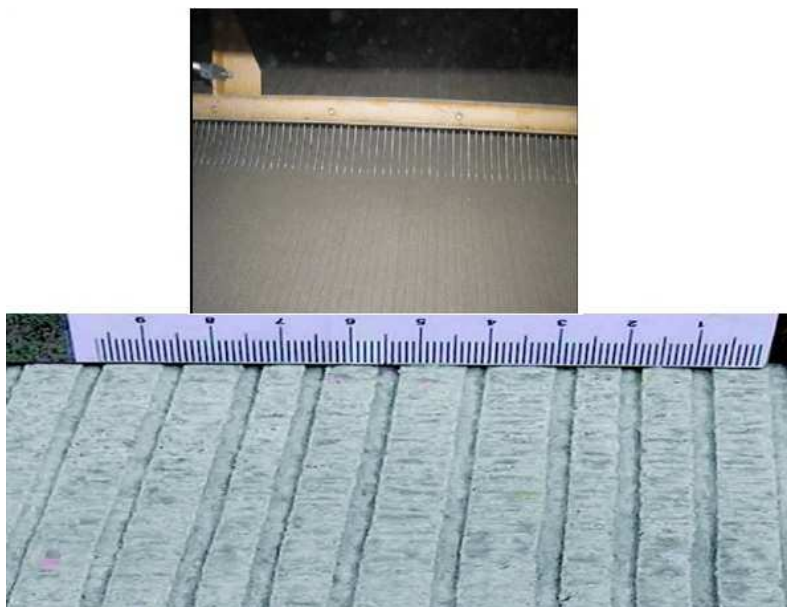
Technologie snižování hlučnosti povrchu se používá především ve Spojených státech amerických a dá se aplikovat na betonovou vozovku v dobrém stavu, ale se špatnou megatexturou. Snížení hluku je přibližně o 5dB a životnost úpravy je cca 10 let. Dosahuje stejné hlučnosti jako referenční asfaltový kryt. [5]



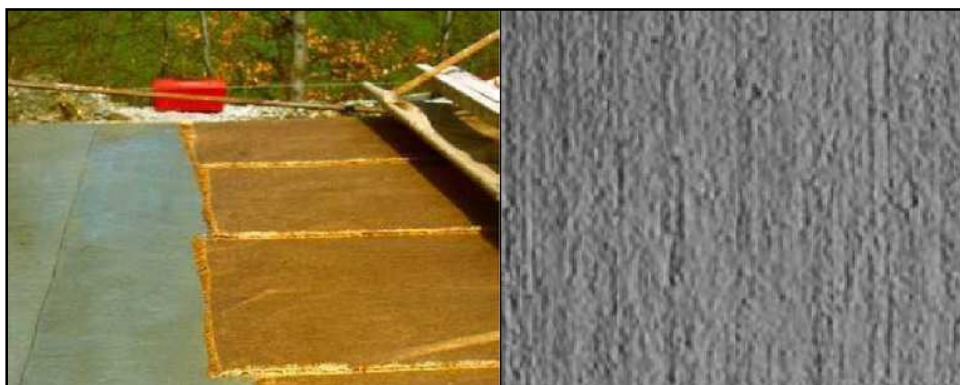
Obr. 13 Cementový kryt s výbrusy[5]

5.1.3 Texturování cementobetonového krytu vozovky před jeho zatvrdnutím

Texturování cementobetonového krytu se provádí následovně. Do nezatvrdlé směsi se speciálními hráběmi, kartáči či vlečenou jutou vytváří textura v podélné nebo příčné formě. Pro dosažení výraznějšího akustického útlumu je vhodnější použít jutu a podélné texturování.[5]



Obr. 14 Povrch vozovky texturovaný speciálními hráběmi [8]



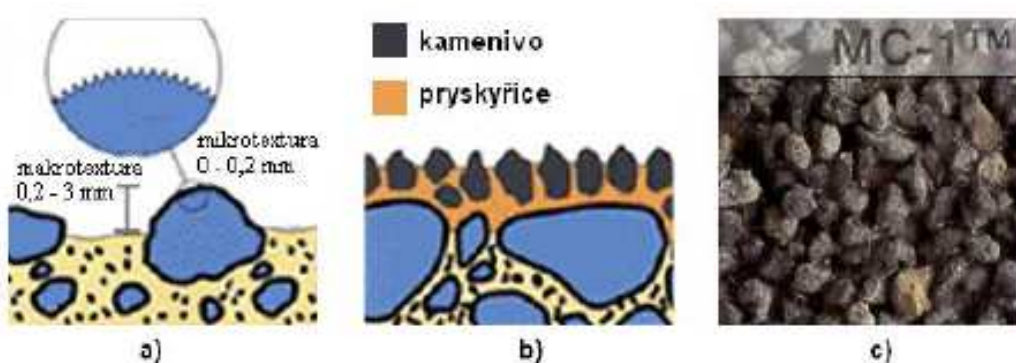
Obr. 15 Povrch vozovky texturovaný hrubou tkaninou (vlečenou jutou) [8]



Obr. 16 Kombinace hrubé tkaniny a speciálních hrábí [8]

5.1.4 Nátěrové technologie

Původně byly nátěrové technologie vyvinuty pro letištní dráhy, jelikož se provádějí především na betonových krytech. Technologie byla rozvíjena pro zlepšení protismykových vlastností a je jí z tohoto hlediska možné docílit těch nejlepších hodnot. Je tvořená tenkou vrstvou asfaltové emulze nebo speciálního modifikovaného asfaltu či epoxidové pryskyřice s kamenivem vhodné frakce (podrcené kamenivo může být přírodní nebo umělé – např. drcená struska). Z hlediska snižování hluku je vhodné použití úzkou frakci kameniva a docílit tak částečného omezení vlivu oscilace pneumatik a snížení air-pumping efektu. Výhoda je i v tom, že tenké vrstvy se často provádí bez potřeby předchozího frézování povrchu. Ovšem je zde však i jistý a to dost podstatný nedostatek technologie, díky principu provedení neplní zásadní drenážní funkci. [3]



Obr. 17 Systém Italgrip a) povrch bez nátěru, b) povrch s nátěrem, c) fotografie povrchu [5]

5.2 Netuhé vozovky

5.2.1 Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy (BBTM)

Nejčastěji se v zahraničí (např. Rakousko) používá na opravy betonových a asfaltových vozovek. Důvodem úprav je většinou zlepšení protismykových vlastností a uzavření rozrušeného povrchu. Pokládka se provádí klasickými finišery za horka do konstrukční tloušťky 25mm. Čára zrnitosti je podobná jako u drenážních koberců, a proto má směs mezerovitost do 15% s použitím kameniva frakce 0/4 a 0/8. Efekt snížení hlučnosti je cca 3dB.

Konkrétními zástupci této technologie jsou:

- Rugosoft, patentovaný společností COLAS, který umožňuje snižování hluku až o 7dB. Směs se může aplikovat jak do extravilánu, tak do intravilánu. Běžně se provádí v tloušťce 20-30mm.
- Viaphone od společnosti EUROVIA CS. Směs tloušťky 20-30mm má ověřené snížení hluku o 3dB, což odpovídá, jak bylo již uvedeno výše, snížení intenzity dopravy o 50%. Technologie se hodí především do městských a příměstských částí. Má výborné protismykové, dobrou drenážní a protihlukové vlastnosti. [3] [28]



Obr. 18 Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy (BBTM)[5]



Obr. 19 Asfaltový koberec Viaphone[28]

5.2.2 Asfaltové směsi modifikované pryžovým granulátem (CRmB)

Švédsko přišlo s touto technologií pod názvem RUBIT (suchý proces), v USA byla pojmenována Plusride a my ji nazýváme obecně gumoasfalt. Dle českých předpisů (TP 148) se jedná o přidávání asfaltu modifikovaném pryžovým granulátem se zkratkou CRmB do různých typů asfaltových směsí.

Směs se vyrábí dvěma způsoby:

- suchý proces (dry-process), kdy se drcená guma frakce 0/4mm se přidává do míchačky v obalovně spolu s kamenivem.
- mokřý proces (wet-process) se vytváří přidáváním pryže ve formě prášku a to s obsahem 7-15% z celkové hmotnosti. Gumoasfaltové pojivo se vyrábí ve speciálních míchacích zařízeních („blender, nebo přímo v rafinerii), kde dochází k přidávání gumového podílu do asfaltu, následně po reakci obou složek se takto upravený asfalt dávkuje do obalovny.

Pryž pro tuto technologii se získává z pneumatik určených k likvidaci. Ty nemají být uloženy na skládku odpadu a tak se používají buď jako palivo nebo se zhodnotí recyklací a získává se z nich drcená guma.

Drcený granulát vzniká:

- mechanickým vícenásobným drcením za běžné teploty.
- kryogenní metodou, kdy dochází k zmrazení kapalným dusíkem a následným podrcením. Takto získaný granulát má menší měrný povrch oproti granulátu získanému předchozím způsobem.

Gumoasfalt lze použít ve směsích typu BBTM, AC, PA i SMA. Dle výzkumu se zjistilo, že gumoasfaltové vrstvy mohou mít sníženou tloušťku, aniž by klesla životnost a to díky vyšší odolnosti proti únavě, stárnutí, trvalým deformacím a trhlinám. Z hlediska nákladů na opravy a celkovou údržbu můžeme hovořit o nižší finanční náročnosti, přičemž je možná recyklace vlastních gumoasfaltových krytů.

V otázce pohltivosti hluku lze docílit snížení až o 9dB při aplikaci drenážního koberce s gumoasfaltovým pojivem.[5], [11], [12]



Obr. 20 Míchací souprava ECOPATH pro přípravu gumoasfaltového pojiva [12]

5.2.3 Asfaltové koberce drenážní (PA)

Asfaltové koberce drenážní jsou asfaltové kryty s velkou mezerovitostí (17-30%). Díky upravené čáře zrnitosti, kde největší použitá frakce vyplňuje prakticky celou kostru, docílujeme zvýšené mezerovitosti. V současné době se preferuje drcené kamenivo a to až s 90% zastoupením. Díky tomu jsou kladeny značné požadavky na kvalitu kameniva (otlukovost, odladitelnost, odolnost proti mrazu, tvarový index a pevnostní charakteristiky). Tím se zvyšují náklady na tvorbu směsi. V Německu a Rakousku se aplikují PA s frakcemi PA8, PA11 a PA16, kdy nejvyužívanější je PA11. K snížení oscilace pneumatik na nejlepší úroveň je nejvhodnější použít PA8, ale zde vzniká problém se zachováním průchodnosti mezer v kostře. Oproti směsi typu SMA má drenážní koberec minimální podíl asfaltové malty. Kohezi tak zajišťuje zejména pojivo a kvalita jeho vazby se zrní kameniva. Kamenivo frakce tvořící kostru a navzájem se o sebe opírá. Jako pojivo se používá buď nemodifikovaný asfalt s přídavkem drcené pryže nebo vysoce modifikovaný asfalt s vláknycelulózou. Pojiva se vyznačují vynikající lepivostí a odolností proti stárnutí, což ovšem navyšuje cenu.

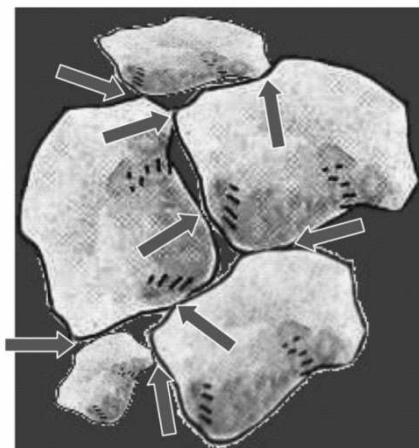
Z hlediska akustických výhod drenážního koberce můžeme hovořit o snížení hlukové zátěže u nové vrstvy 4 – 8 dB. Je však nutno podotknout, že hodnoty se týkají jen nově položených krytů. Životnost krytu je přibližně 10 let, ale akustické vlastnosti se snižují o 0,5-1 dB ročně. Po ztrátě této vlastnosti z důvodu zanesení pórů může ještě fungovat jistou dobu jako SMA. Efektivita pohlcování hluku a prodloužení doby životnosti se docílí použitím dvouvrstvého krytu. Jemnozrnnější horní vrstva

s uzavřenou strukturou PA8 zajišťuje ochranu před znečištěním a dolní vrstva PA16 pak plní funkci pohlcování hluku. Poprvé byla v roce 2000 v Rotterdamu použita pokládka dvouvrstvého krytu upraveným finišerem tzv. horké do horkého.

Obecně lze říci, že PA je vhodný pro rychlosti vyšší než 50km/h, což vede k využívání na dálnicích a rychlostních komunikacích v příměstských oblastech.

Aby se oddálila doba ztráty protihlukových vlastností, musí se dodržovat následující pravidla:

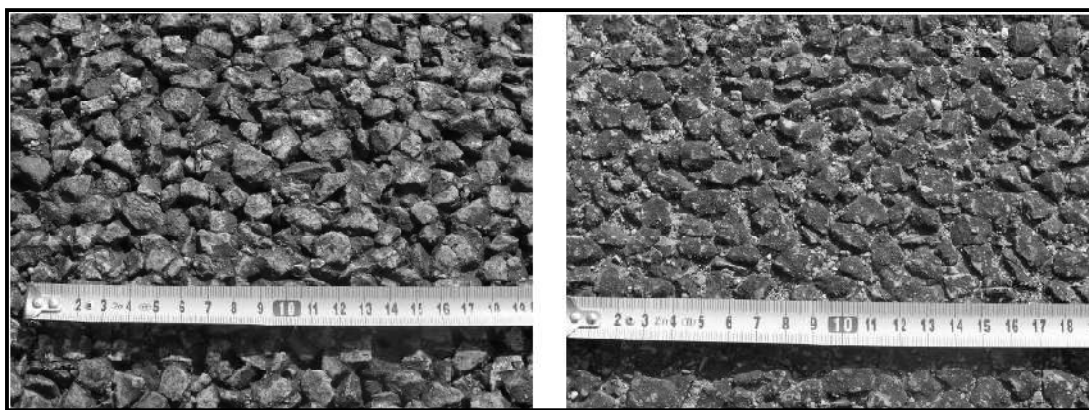
- používat radlice s gumovými břity, aby se nevylamovala zrna kameniva při odklízení sněhu
- po zimním období čistit póry tlakovou vodou speciálním automobilem
- pro řádné zajištění odtoku udržovat krajnice tak, aby jejich výška nepřevyšovala povrch podkladní vrstvy
- kontrolovat napojení hrany komunikace na přilehlý chodník[14] [3]



Obr. 21 Zajištění koheze u PA [3]



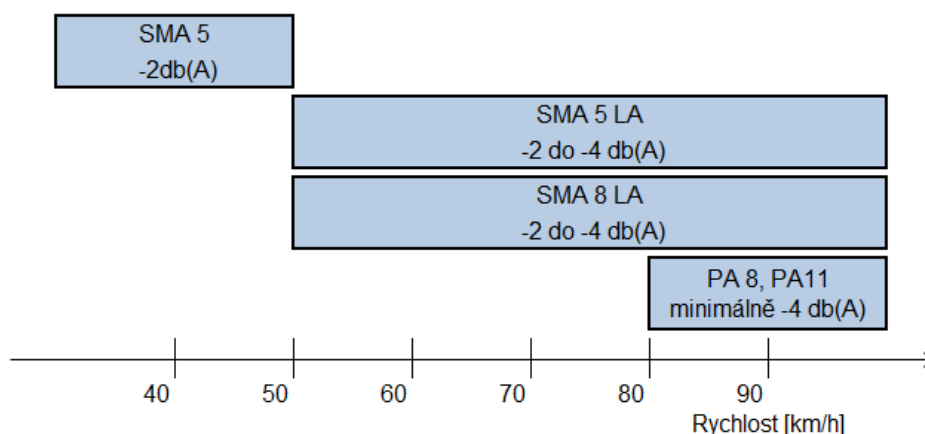
Obr. 22 Detail dvouvrstvého asfaltového koberce drenážního [5]



Obr. 23 Detail drenážního koberce v řádném stavu koberce (vlevo), detail zaneseného drenážního koberce[14]

6 NÍZKOHLUČNÉ ASFALTOVÉ KOBERCE MASTIXOVÉ (SMA LA)

Jako alternativa k technologii drenážních koberců se z důvodu menších nároků na pravidelnou údržbu, nižší náročnosti na zimní údržbu a výrazně sníženého rizika zanášení mezer nečistotami v Německu a Rakousku aplikuje asfaltový koberec mastixový se sníženou hlučností. Od klasického mastixového koberce se liší změněnou čarou zrnitosti. Je u něj snížen podíl jemných částic využitím asfaltových pojiv s vysokou lepivostí. Asfaltový kryt má díky stavebně technickým charakteristikám minimální podélné nerovnosti a tím dosahuje snížení hlukové zátěže přibližně o 4-6 dB. Oproti drenážním kobercům lze SMA LA využít jako protihlukové opatření pro všechny rychlosti a pro všechny třídy dopravního zatížení.[3]



Graf 7 Použití krycích vrstev v závislosti na rychlosti jízdy [15]

6.1 Zkušenosti se SMA LA – stavební práce

V roce 2004 se v Německu začal vyvíjet nízkohlučný asfaltový koberec mastixový (dále jen SMA LA). Směs SMA LA byla realizována na úsecích BAB A93 u Schwandorfu a BAB A3 u Tennenlohe. Potřebovali dosáhnout požadovanou pórovitost 10-15% a snížení hluku o 4dB. Problém ovšem nastal již v témže roce, kdy se zjistilo, že podkladní vrstva o zrnitosti 0/22 vytváří nehomogenní a otevřenou strukturu povrchu a díky tomu vniká voda do struktury vrstvy, která může být poškozena. Nepomohlo ani zvýšení dávkování asfaltové emulze pro spojovací postřik. Z toho důvodu zaměnili původní asfaltový podklad na podklad o zrnitosti 0/16. Při stavbě ani při údržbě nebyly nalezeny žádné poruchy. Pouze na úseku, kde byla ze začátku aplikována spodní vrstva o zrnitosti 0/22 mm, vznikla příčná poškození (viz. obr. obr 26). Výzkumem bylo potvrzeno, že šlo o problém s otevřenou strukturou. [15]



Obr. 24 Poškozená místa SMA LA v oblasti BAB A93 u Schwandorfu [15]

Rok Typ asfaltové směsi	2005 SMA 0/8 LA	2006 / 2007 SMA 0/8 LA	2008 SMA 0/8 LA	2008 SMA 0/8 LA	2009/2010 SMA 8 S-LA	2011 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

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

6.1.1 Provedení

Po úspěšném odzkoušení SMA LA a vzhledem k různým místním poměrům a střídání firem, které stavbu provádějí, byly vydány následující pokyny:

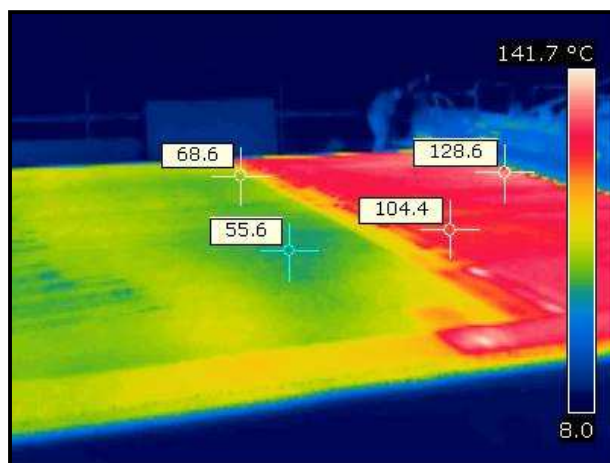
- Provádění zkušebního úseku s ohrusnou vrstvou SMA LA by se mělo realizovat i tehdy pokud existují zkušenosti s tímto způsobem stavby
- Stanovení množství dávky emulze na podklad – při použití mastixové ložní vrstvy může být dávka emulze snížena na přibližně 300 - 500 g/m².
- Dodržení čáry zrnitosti v oblasti frakce 2/5 mm.
- Při hutnění se osvědčilo použití tandemových válců se statickým hutněním, hmotností minimálně 6 tun a minimálně 4 pojezdy. Vibrace se

nepoužívá z důvodu nebezpečí rozdrčení zrn kameniva a tím změny čáry zrnitosti.

- Stanovení mezerovitosti a míry zhutnění.
- Zkušební pole musí mít délku od 150 do 200 m a po ukončení kontrolních zkoušek se daný úsek dostaví.
Praxe ovšem ukázala, že rovnost povrchu v oblasti zkušebního úseku neodpovídá požadavkům (nerovnost ≤ 3 mm) díky rozdílnému hutnění. Pokud to 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.
- Finišeru musí být zajištěn nestálý přísun nové směsi, aby nedocházelo k odstávkám.
- Teplota položené směsi se kontroluje infračervenou kamerou (viz. Obr. 27). Jestliže je na začátku hutnění příliš nízká teplota a odstávky finišeru delší, tak se provádí dokumentace do tzv. termografické zprávy (viz. Obr. 28). Ta slouží pro hodnocení kvality vedle kontrolních zkoušek. [15]



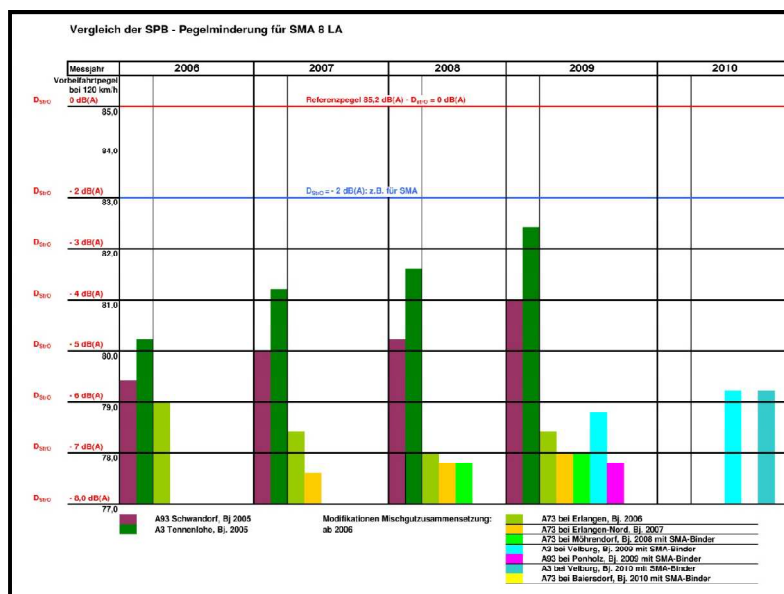
Obr. 25 Teplota povrchu SMA LA na desce finišeru [15]



Obr. 26 Teplota obrusné vrstvy po zastavení finišeru [15]

6.1.2 Zkoušky

Akusticko-technické zkoušky statického měření vozidel metodou SPB a měření hluku pomocí metody CPX byly prováděny v ročních intervalech. Vzhledem k neustálému vývoji se podařilo dosáhnout výrazně lepšího snížení hladiny hluku(viz. Graf 8.)



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

6.2 Aktuální výsledky výzkumu

6.2.1 Optimalizace složení směsi – výsledky

Ze spolupráce Laboratoře silničního stavitelství Technické Univerzity Drážďany a Ředitelství dálnic Severního Bavorska byly provedeny studie a výzkumy, díky nimž byla optimalizovaná směs SMA 8 LA v závislosti množství pojiva na zvýšení životnosti, aniž by to mělo negativní dopad na akusticko-technické vlastnosti.

Snahou bylo při velké mezerovitosti (min. 10%) použít velké množství pojiva (min. 14%) u směsi SMA 8 LA. Bylo navrženo 5 různých poměrů zrnitostí (viz. Tab. 2). S ohledem na dosavadní zkušenosti byly varianty uskutečněny za maximálního dodržování platných postupů. Kamenivo hrubé i jemné frakce se použilo z kamenolomu BadBerneck, vápencová moučka byla dodána z Wünschendorfer Dolomitwerk GmbH. Jako asfalt byl použit modifikovaný asfalt gradace 40/100-65 A.

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

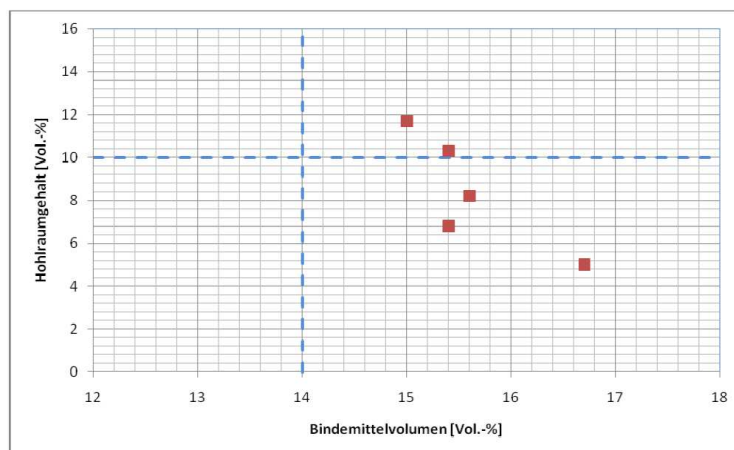
Tab. 2 Zvolené varianty procentuálního zastoupení frakcí kameniva [15]

Podle předepsaných variant byla vyrobena Marshallova tělesa a vypočítána jejich objemová hmotnost. Objemové hmotnosti byly stanoveny jednak postupem vážení ve vodě a na suchu, a také postupem z rozměrů.

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
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	16,7

Tab. 3 Výsledky zkoumaných variant [15]

Ze zkoumaných variant vyšla nejlépe varianta 1 s obsahem pojiva 6,8 %. U této směsi byla zjištěna mezerovitost při vážení ve vodě a na suchu 11,7 % a mezerovitost z rozměrů 15,0 %.



Graf 9 Mezerovitost v závislosti na objemu pojiva [15]

Byla zkoušena i možná změna zrnitosti kameniva při zhutnění pomocí rázového zhutňovače u Marshallových zkušebních těles vyrobených podle varianty 1, při různých počtech úderů (2 x 25, 2 x 50 a 2 x 75). Poté se provedla destilace zkušebních těles pro stanovení čáry zrnitosti kameniva. Kromě toho byla odebrána nezhutněná směs a jádrové vývrty, které byly odebrány ze zkušebních úseků vyrobených s touto recepturou a zkoumány ohledně zrnitosti kameniva. Na závěr se vyhodnotily čáry zrnitosti v závislosti na počtu úderů při zhutňování a porovnávaly se s počáteční čarou zrnitosti.

Signifikanční změny nastávají především u frakce 2/5 mm a 5/8 mm. Vysoký podíl 5/8 rozdrcených zrn s rostoucím počtem úderů přechází do frakce 2/5 mm. U dalších frakcí se mění zrnitost kameniva jen minimálně. Změny byly zaznamenány již u malého počtu úderů (2 x 25) a s narůstajícím počtem úderů se podle očekávání objem změn ještě výrazněji navyšuje (viz Tab. 4). Bylo zjištěno, že rozdrcená zrna se vyskytují signifikantně mezi variantami počtu úderů 2 x 25 a 2 x 50.

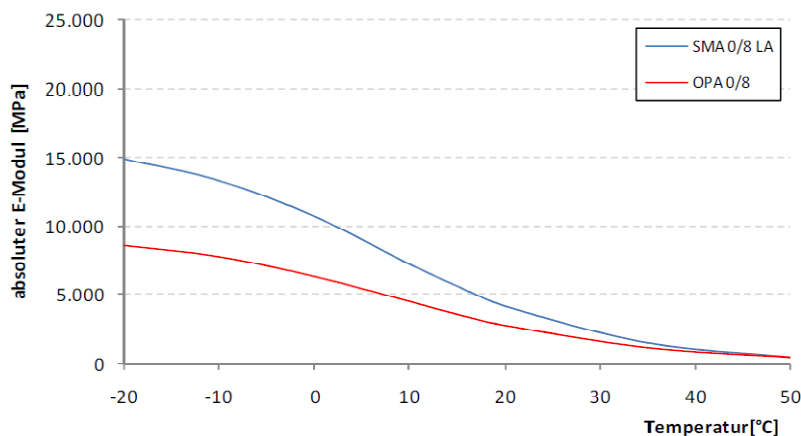
Podíl	Směs nezhutněná [%]	Jádrový vývrt z úseku [%]	2 x 25 úderů [%]	2 x 50 úderů [%]	2 x 75 úderů [%]
< 0,063 [mm]	7	7,2	6,9	7,3	7,4
0,063 – 2,0 [mm]	10,6	11,4	11,3	12,9	13,6
>2,0 [mm]	82,4	81,4	81,8	79,8	79
>5,6 [mm]	74,1	66,2	68,3	59,6	58,6

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

Vzhledem k výsledkům změn v čáře zrnitosti v jednotlivých tělesech by se mělo uvažovat o změně technologického postupu výroby Marshallových těles. K tomu však musí být provedeno ještě mnoho pokusů v rámci prověřování změny čáry zrnitosti ve zkušebních tělesech, protože v rámci pokusu byla zkoumána pouze jedna varianta s obsahem pojiva 6,8 %.[15]

6.2.2 Odhad doby životnosti obrusných vrstev SMA-LA

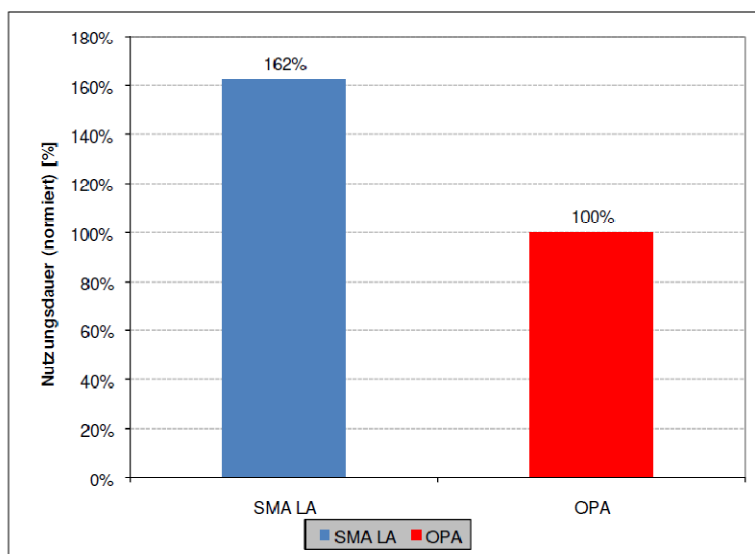
Ředitelství dálnic Severního Bavorska si nechalo zpracovat rozsáhlé výzkumy na odhad doby životnosti. V laboratoři se z jádrových vývrtů stanovily ukazatele materiálu PA 0/8 pro SMA 0/8 LA. Pomocí dimenzačního softwaru se vytvořily základní ukazatele pro odhad doby životnosti. Pozorováním směsí typu PA a SMA LA se provedlo srovnávací hodnocení. Z toho důvodu byly vybrány zkoumané úseky tak, aby byly přibližně stejně staré a používala se u nich stejná pojiva.



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

Provedly se zkoušky stanovené tuhosti při frekvenci 10Hz a z Grafu 10 je patrné, že při teplotách -20 až +35°C má SMA LA výrazně větší tuhost, než OPA. Je to způsobeno především vysokým objemem pórů ve směsi. V Grafu 11 jsou uvedeny

normované doby životnosti. Výzkum probíhal u zkoumaných variant s krycími vrstvami SMA LA příp. PA podle výpočtů dimenzování.



Graf 11 Normované doby životnosti zkoumaných variant [15]

U obrusné vrstvy PA je zjištěna nejmenší doba životnosti (100%). Oproti tomu povrchová vrstva SMA LA vykazuje až 162% dobu životnosti. V první řadě je to zapříčiněno zjištěnou tuhostí klesající s rostoucí mezerovitostí. Díky tomu lze odvozovat souvislosti mezi mezerovitostí obrusné vrstvy, mechanickými vlastnostmi a výslednou dobou životnosti. Proto je velký význam přikládán stanovení objemu pórů v souvislosti s odolností obrusné vrstvy. [15]

6.3 Shrnutí

Pokud chceme na technologie nízkohlučných vrstev pohlížet komplexně, nestojí v popředí jen tlumení hluku, nýbrž i životnost. Životností se rozumí - při přijatelně velkém tlumení hluku zaručená odolnost proti deformaci, drsnost vozovky a nevytváření trhlin, aby se minimalizovaly náklady na výstavbu a náklady na údržbu.

Z výsledků výzkumných programů máme nutnou aktualizaci požadavků na asfaltovou směs SMA LA. V dubnu 2011 se změnila teplota hutnění na 145°C a tím byla upravena mezerovitost Marshallových zkušebních těles a asfaltové vrstvy (viz Tab.5).

Asfaltová směs		
Teplota hutnění	°C	145 ± 5
Minimální mezerovitost	%	V _{min} 9,0
Maximální mezerovitost	%	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	%	9 až 14

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

Používaná technologie mastixové ložní vrstvy SMA LA se osvědčila a tím se nabídly i ekonomické výhody:

- na zrnitost kameniva se nemusí klást zvýšené požadavky
- zvýšené požadavky na odvodnění nejsou nutné
- nezvyšují se náklady při zimní údržbě
- mastixovou ložní vrstvu lze použít jako recykláž
- při rekonstrukci ohrusné vrstvy se ložní vrstva nemusí sanovat plošně, což šetří náklady, zkracuje dobu stavby a tím minimalizuje náklady na dopravní uzávěrky

Již v úvodu bylo řečeno, že SMA LA představuje alternativní řešení k PA. V Tab. 6. jsou patrné výhody SMA LA oproti PA. [15]

Krycí vrstva	PA 8	SMA 8 LA
Snižování hladiny hluku podle RLS 90		Žádná hodnota D_{StRO}
D_{StRO}	-5 dB(A)	(-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 snižování 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

Tab. 6 Srovnání PA 8 a SMA 8 LA

7 SMĚS typu LOA 5 (Lärmoptimierte Asphaltdeckschicht)

Do skupiny mastixových asfaltových krytů patří německá směs LOA 5, která se nazývá také „düsseldorfská asfaltová směs“. Jestliže budeme porovnávat SMA LA (nízkohlučný koberec mastixový) s LOA, zjistíme, že se düsseldorfská směs blíží svou mezerovitostí normálnímu asfaltovému koberci mastixovému (5-10%) a navíc se u této směsi dosahuje lepších výsledků u protismykových vlastností. Na úsecích, kde byla aplikovaná LOA 5, bylo naměřeno snížení hluku až o 5dB a dokonce, když bylo měření zopakované, nebyla zjištěna ztráta schopnosti snižovat hluk. Měření se provádělo při rychlostech 50km/h a pro osobní automobily. [29]

7.1 Pokládka směsi LOA 5

První zkušební pokládka směsi „LOA 5D“ se konala 1. dubna 2007 v ulici – „Mecumstrasse“ v Düsseldorfu. Stavební realizaci provedla firma KemnaBauAnreaeGmbH and Co.KG a směs zhotovila firma AMD Asphaltmischwerk Düsseldorf Gmb and Co.KG. V Mecumstrasse byla položena obrusná vrstva přibližně na 300 m dlouhý úsek dvou jízdních pruhů v přibližně 2 cm tloušťce na čerstvý asfaltový podklad. Pokládka a následné měření hlučnosti byly součástí průzkumu pro generální opravu Kennedynamms v Düsseldorfu, která byla dokončena na začátku srpna 2007 s pokládkou povrchové vrstvy (LOA 5D) na přibližně 11000 m². Také zde byla stavební realizace a zhotovení směsi provedeno výše jmenovanými firmami. [29]

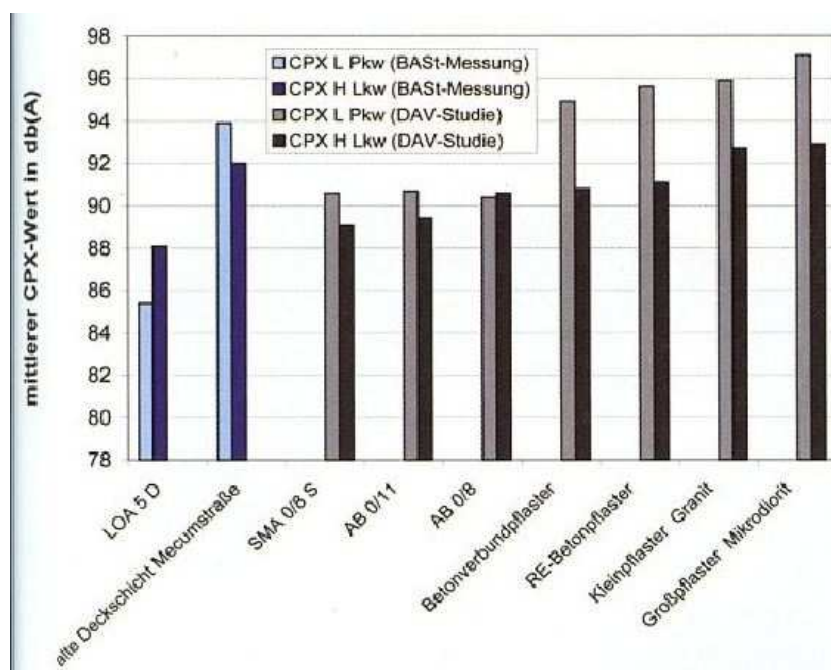


Obr. 27 Hutnící válec při pracích na povrchu LOA 5D[29]

7.2 Výsledky technického měření na zkušebním úseku

Bezprostředně po pokládce (2. dubna 2007) byla provedena měření hlučnosti společností BAST (technicko-vědecký institut) metodou CPX jak na nově instalovaném povrchu LOA 5 D (směr: výjezd z města), tak i na starém povrchu „Mecumstrasse“ (směr: vjezd do města). Výsledky těchto měření a porovnání referenčních hodnot různých stavebních způsobů, rozdělených podle PKW (měření pomocí osobních automobilů metodou CPX1, pneumatiky: Dunlop SP Artic) a LKW (měření nákladními automobily metodou CPXH, pneumatiky Avon ZV1), jsou zobrazeny v grafu 10. V červnu 2007 provedlo TÜV NORD (technické kontrolní sdružení sever) další technická měření na povrchu LOA 5D na „Mecumstrasse“ a v září 2007 na „Kennedydamm“. Na rozdíl od měření provedených BASTem použila TÜV NORD 4 různé druhy pneumatik a vytvořili tak průměr (střední hodnotu). Jako výsledek změřilo TÜV NORD střední hladinu akustického tlaku 86,7 dB na povrchu „Mecumstrasse“ a 87,9 dB na povrchu „Kennedydams“. Dalšími měřeními byly po asi třech měsících zátěže potvrzeny základní pozitivní vlastnosti hlučnosti.

Pomocí měřicího systému SKM (Seitenkraft - Messytem“) provedla firma SCRIM NORDHEIm GmbH rovněž bezprostředně po pokládce (2. duben 2007) měření záběru pneumatiky na obou pruzích „Mecumstrasse“. Průměrné SKM - hodnoty leží u přibližně 0,9, což jsou na „nezajetém“ povrchu překvapivě pozitivní výsledky. Kromě toho byla zjištěna na čerstvě položeném povrchu průměrná hodnota stanovena odměrnou. Výsledky leží s průměrnou hodnotou 0,73 mm trochu níže než naměřené hodnoty na zkušebních deskách vyrobených v laboratoři. [29]



Graf 12 Srovnání hlučnosti na zkušebním úseku a starém povrchu[29]

7.2.1 Posouzení výsledků

Při srovnávání výsledků měření hlučnosti můžeme pro koncept povrchu vozovky LOA 5D na zkušebním úseku Mecumstrasse vyvodit následující závěry:

Osobní automobily

- Snížení CPXL50 – Indexu o 8,5 dB z 93,9 na 85,4 dB v porovnání se starým povrchem
- Snížení CPXL50 – Indexu o 5,1 dB z 90,5 na 85,4 dB v porovnání s typickými asfaltovými povrchy (SMA 0/8 S, AC 0/11 a AC 0/8)

Nákladní automobily

- Snížení CPXH50 – Indexu o 4 dB z 92 na 88 dB v porovnání se starým povrchem
- Snížení CPXH50 – Indexu o 1,1 dB z 89,1 na 88 dB v porovnání s typickými asfaltovými povrchy (SMA 0/8 S)

Při daném složení povrchu vozovky se dalo čekat, že se snížení CPX indexu při lehčím provozu (osobní automobily) projeví zřetelněji než při těžším provozu (nákladní automobily). Také se prokázalo, že povrch vozovky ve vyšší povrchové vrstvě nemá skoro žádný vliv na hluk pneumatik od nákladní automobilové dopravy, pokud průměr maximální zrnitosti frakce nedosahuje hodnotu o 5 mm vyšší. [29]



Obr. 28 Měření metodou CPX[29]

7.2.2 Shrnutí a výhled

Primární cíl projektu, realizace optimalizace hlučnosti asfaltového povrchu s redukcí zvukové hladiny o 3 až 4 dB při 50 km/h, se v první části i s přihlédnutím ke krátké době využívání podařil.

Oba zkušební jízdní úseky byly městem Düsseldorf v pravidelných intervalech podrobovány přezkoušení jejich hlučnosti. Bohužel, jsem čerpal z časopisu, který byl vydán v roce 2007, a tudíž nejsou k dispozici následující hodnoty měření, ale i přes to byly doposud naměřené výsledky velice pozitivní. Potěšující je na tom také vysoká úroveň drsnosti povrchu, což bylo dokázáno teprve po spuštění provozu.

Do budoucna je počítáno s dalšími optimalizacemi, aby se při nastávajících stavebních úpravách docílilo ještě lepších hlukových parametrů. [29]

8 PRAKTICKÁ ČÁST - POUŽITÉ MATERIÁLY

V této kapitole jsou popsány veškeré materiály, které byly použity při laboratorních návrzích obou typů směsí. Nízkohlučného asfaltového koberce mastixového SMA 8 LA a „düsseldorfské asfaltové směsi“ LOA 5.

8.1 SMA 8 LA - pojivo

8.1.1 COLFLEX – dodavatel COLAS

Na výrobu pojiva směsi byl použit modifikovaný asfalt COLFLEX, u kterého byly zjištěny následující parametry:

Penetrace 50 p.j.

Bod měknutí KK 70,0 °C

8.1.2 Modifikační přísada MODICEL

Směsná modifikační přísada.

Složení - Licomont BS 100 a celulózová vlákna Scel7 v poměru 40:60.

Přísada v sobě spojuje výhodu modifikace i dodání nosiče pojiva v jednom kroku.



Obr. 29 Modicel

8.2 LOA 5 – Pojivo

8.2.1 Dodavatel TOTAL 50/70

Na výrobu pojiva směsi byl použit asfalt TOTAL gradace 50/70, u kterého byly zjištěny následující parametry:

Penetrace 50 p.j.

Bod měknutí KK 70,0 °C

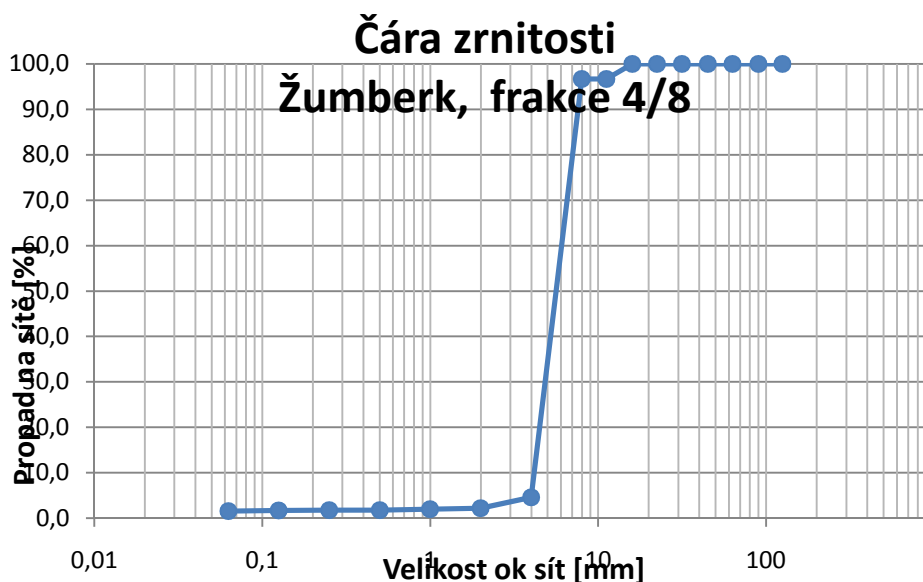


Obr. 30 Asfaltové pojivo TOTAL 50/70

8.3 SMA 8 LA - Kamenivo

8.3.1 SMA 8 LA

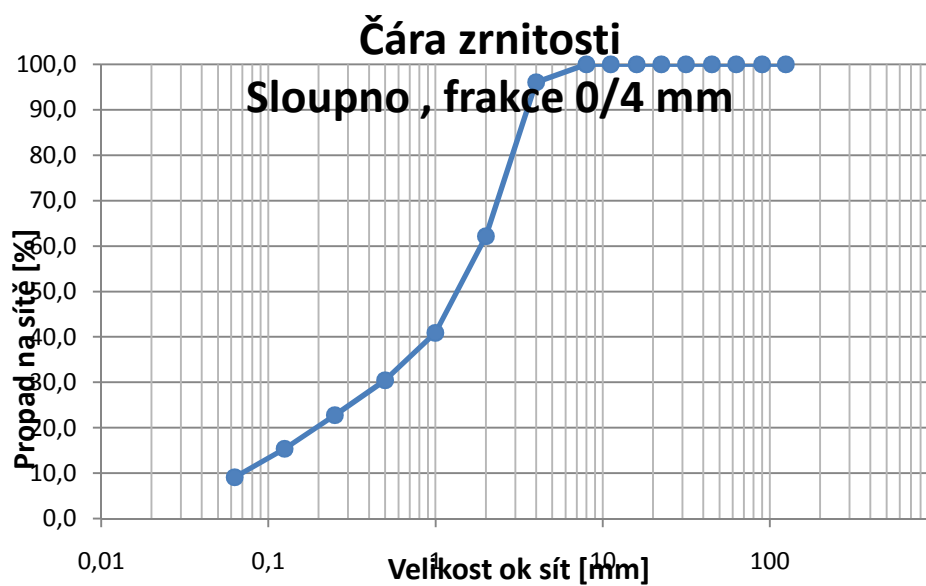
Pro návrh asfaltové směsi bylo použito kamenivo frakce 0/4 mm z lomu Sloupno (Chotěboř-Sloupno, okres Havlíčkův Brod) a 4/8 mm z lomu Žumberk (okres Chrudim) a vápencová moučka z lokality Kunčice. V tabulkách jsou uvedeny síťové rozborů a v grafech jsou uvedeny čáry zrnitosti jednotlivých frakcí.



Graf 13 Čára zrnitosti frakce 4/8 mm

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

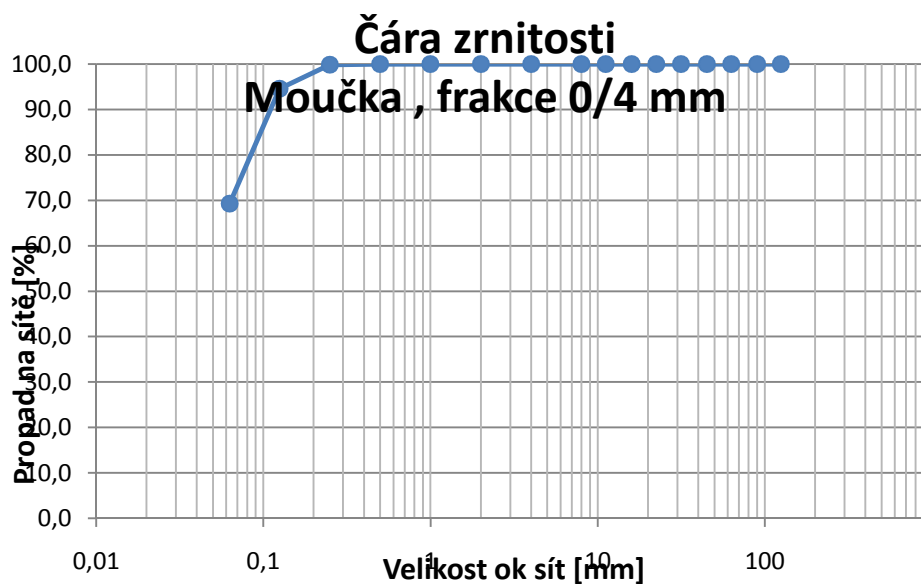
Tab. 7 Síťový rozbor frakce 4/8 mm



Graf 14 Čára zrnitosti frakce 0/4 mm

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

Tab. 8 Sítový rozbor frakce 0/4 mm



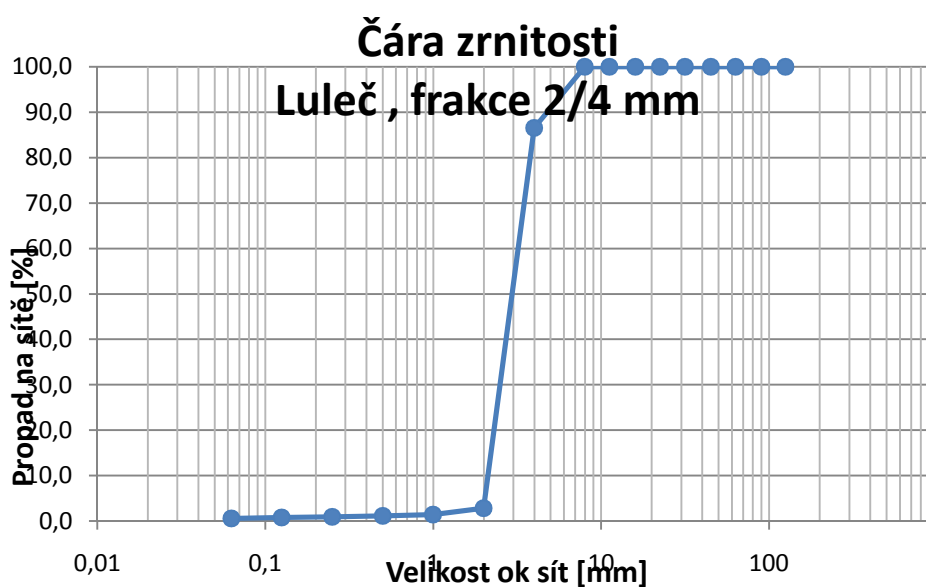
Graf 15 Čára zrnitosti vápencové moučky

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

8.4 LOA 5 - Kamenivo

8.4.1 LOA 5 – návrh 1

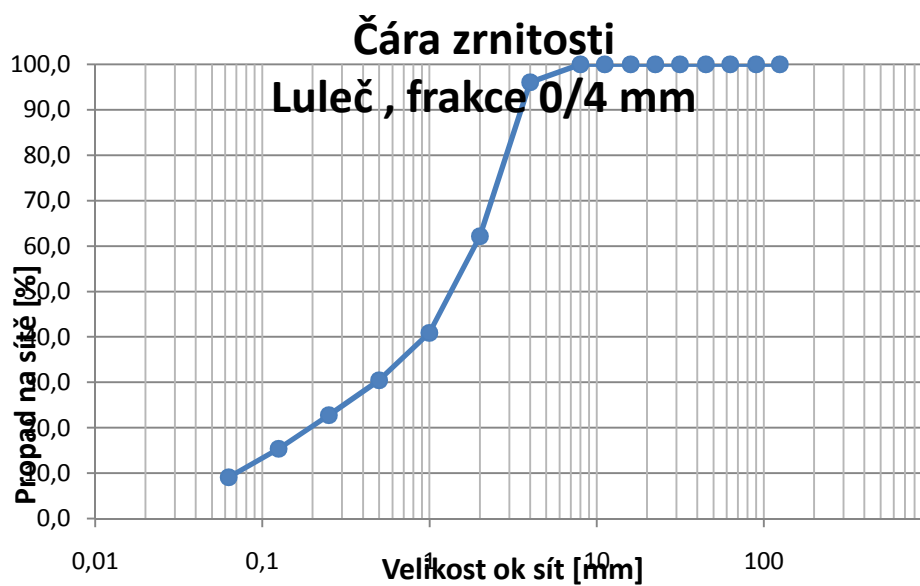
K návrhu asfaltové směsi LOA 5 bylo použito kamenivo frakce 0/4 mm z lomu Luleč (Jihomoravský kraj) a frakce 2/4 mm z lomu Luleč (Jihomoravský kraj) a vápencová moučka z lokality Mokrá. V tabulkách jsou uvedeny sítové rozборы a v grafech jsou uvedeny čáry zrnitosti jednotlivých frakcí.



Graf 16 Čára zrnitosti frakce 2/4 mm

Frakce	Velikost síta [mm]								
	8,0	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
2/4	100,0	100,0	87,4	3,4	2,1	2,0	1,9	1,7	1,6

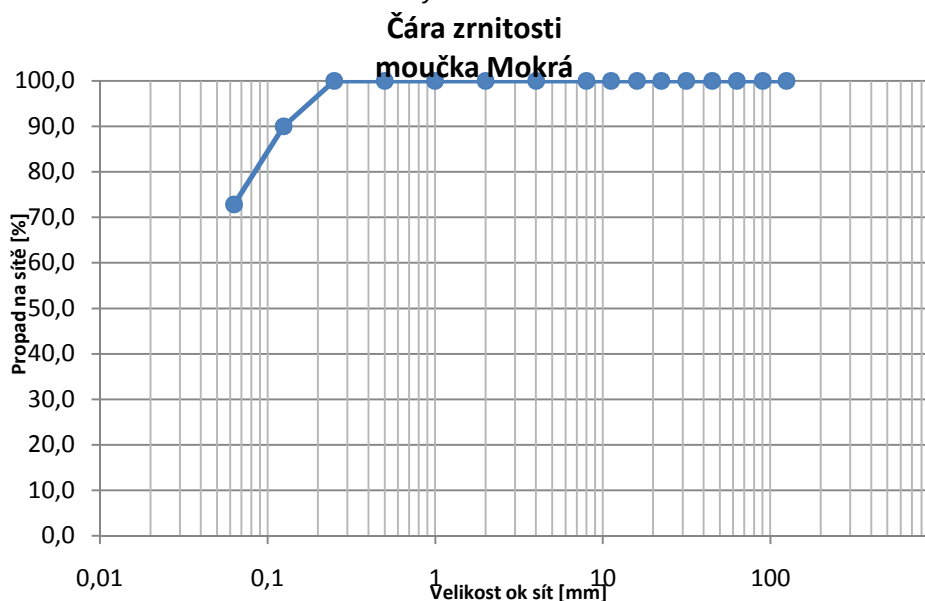
Tab. 10 Sítový rozbor frakce 2/4 mm



Graf 17 Čára zrnitosti

Frakce 0/4	Velikost síta [mm]								
	8,0	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
	100,0	100,0	94,2	70,4	50,2	35,9	23,4	10,9	4,9

Tab. 11 Sítový rozbor frakce 0/4 mm



Graf 18 Čára zrnitosti vápencové moučky

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

Tab. 12 Sítový rozbor vápencové moučky



Obr. 31 Kamenivo frakce 0/4 a 2/4



Obr. 32 Laboratorní přístroj na provedení síťového rozboru

9 NÁVRH SMĚSI

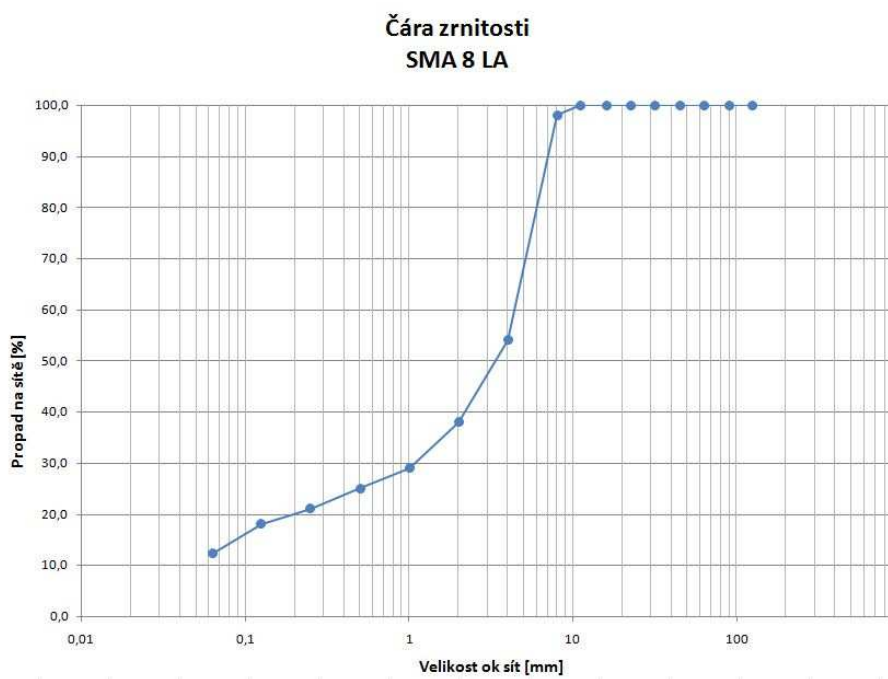
9.1 Návrhy směsí SMA 8 LA a LOA 5

Směs SMA 8 LA a LOA 5 byly navrženy a posuzovány, každá v jednom návrhu.

9.1.1 SMA 8 LA

Dávkování	Frakce	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
84,5	4/8	96,7	19,0	13,0	11,0	10,0	9,0	8,0	6,1
10	0/4	100,0	96,1	62,2	40,9	30,5	22,8	15,4	9,1
5,5	Moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	94,6	69,3
100		98,0	54,0	38,0	29,0	25,0	21,0	18,0	12,3

Tab. 13 Sítový rozbor frakcí kameniva, vápencové moučky a výsledná zrnitost směsi



Graf 19 Výsledný návrh čáry zrnitosti směsi SMA 8 LA

9.1.2 LOA 5D – návrh

	Frakce	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
55	2/4	87,4	3,4	2,1	2,0	1,9	1,7	1,6
37	0/4	94,2	70,4	50,2	35,9	23,4	10,9	4,9
8	Moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	72,8
100		91,0	36,0	28,0	22,0	18,0	12,0	8,5

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



Graf 20 Výsledný návrh čáry zrnitosti směsi LOA 5D

9.2 Laboratorní výroba směsi SMA 8 LA

Zkušební zařízení a pomůcky:

- Laboratorní míchačka s ohřevem, odvětrávaná sušárna pro ohřev kameniva a asfaltu na referenční teplotu, laboratorní váhy s dostatečnou váživostí s přesností vážení nejméně $\pm 0,1$ g, laboratorní teploměr přiměřeného rozsahu měření teploty

Postup výroby směsi:

Dle normy ČSN EN 12697-35 a navrženého složení směsi byla namíchána směs při teplotě 170°C a to následným postupem:

- Po vysušení potřebného množství kameniva v laboratorní sušárně jsem navážil dle návrhu jednotlivé frakce a nahříval je na teplotu 170 °C. Na tuto teplotu jsem samostatně zahřál i asfalt.
- Zapnul jsem si předehřívání míchacího stroje a dal si nahřívat i míchací kotel.
- Po dosažení požadované teploty jsem kamenivo nasypal do kotle a dolil na vahách odměřené množství asfaltu.
- Kotel se směsí jsem vložil do míchacího stroje a začal proces promíchávání směsi, kdy jsem začal přidávat předem nadrcený Modicel.
- Všechny složky směsi jsem řádně promíchal.



Obr. 33 Laboratorní sušárna



Obr. 34 Míchací zařízení na promíchání asfaltové směsi

9.3 Výroba zkušebních těles

9.3.1 Marshallova tělesa

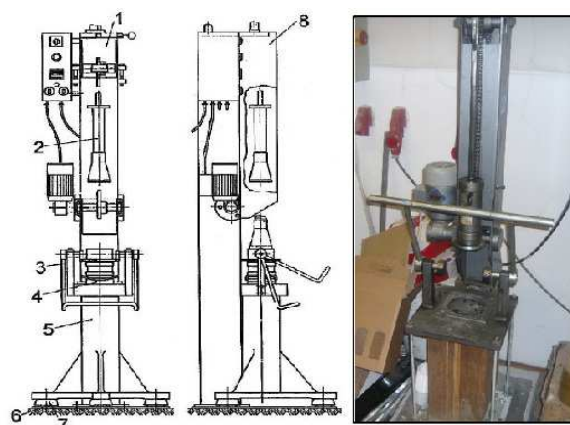
Zkušební zařízení a pomůcky na výrobu Marshallových těles

- Odvětrávaná sušárna pro ohřev namíchané směsi na referenční teplotu, laboratorní váhy s dostatečnou váživostí s přesností vážení nejméně $\pm 0,1$ g, laboratorní teploměr přiměřeného rozsahu měření teploty, formy pro výrobu Marshallových těles, rázový zhutňovač, vytlačovací hydraulické zařízení

Postup výroby vzorků:

Pro potřeby zkoušek byla vyrobena 4 Marshallova tělesa. Dle normy ČSN EN 12697-35 a navrženého složení směsi byla namíchána směs při teplotě 170°C .

- Navážka na jedno těleso je 1160g. Vytvořil jsem tři navážky, vložil do pece a temperoval na požadovanou teplotu hutnění 155°C .
- Směs jsem plnil do tří předehřátých forem na 3x. Každá vrstva se lehce urovná špachtlí.
- Formu upevníme do rázového zhutňovače a spustíme proces hutnění. 50 rázů z obou stran.
- Po zchladnutí vzorku jsem jej uvolnil z formy na vytlačném zařízení.



Legenda

- 1 Základní zdvihací zařízení s motorovým pohonem pro hutnění beran a poštáclom rázu (na obrázku bez ochranného krytu)
- 2 Hutnicí pých s válcovou vodící tyčí hutnicího beranu
- 3 Excentrické vačka upínacího zařízení
- 4 Podkladní deska formy pro hutnění, na kterou se forma připevňuje
- 5 Zhutňovací podstavec
- 6 Ocelová podkladní deska
- 7 Pletky
- 8 Ochranný kryt

Obr. 35 Rázový zhutňovač



Obr. 36 Chladicí zařízení s ventilátorem



Obr. 37 Výtlačné zařízení



Obr. 38 Marshallova zkušební tělesa ze směsi SMA 8 LA

9.3.2 Marshallova tělesa na zkoušku ITRSR

Zkušební zařízení a pomůcky na výrobu Marshallových těles pro zkoušku ITRSR

viz. 9.3.1.

Postup výroby vzorků:

Zkouška ITRSR vyžaduje zhotovení 6 vzorků. Provedl jsem navážku a postupoval stejně jako v kapitole 9.3.1 s tím rozdílem, že se hutnilo z obou stran pouze 25 úderů.



Obr. 39 Marshallova zkušební tělesa vyrobená ze směsi SMA 8 LA na zkoušku ITSR

9.3.3 Desky pro stanovení odolnosti proti tvorbě trvalých deformací

Zkušební zařízení a pomůcky

- Odvětrávaná sušárna pro ohřev namíchané směsi na referenční teplotu, laboratorní váhy s dostatečnou váživostí s přesností vážení nejméně $\pm 0,1$ g, laboratorní teploměr přiměřeného rozsahu měření teploty, lamelový zhutňovač, separační nátěr

Postup výroby vzorků:

Dle normy ČSN EN 12697-35 jsem měl namíchanou asfaltovou směs:

- Kamenivo a asfaltové pojivo jsem zahřál na předepsaných 170°C k míchání dle postupů držících se normy jsem namíchal směs. Navážku směsi jsem určil podle ČSN EN 12697-33 – vzorec viz níže.
- Směs jsem temperoval na 155°C
- Lamelový zhutňovač jsem si nastavil na požadované rozměry a vytřel separačním nátěrem (glycerin a škrob), aby nedošlo k přilepení směsi.
- Dle normy ČSN EN 12697-33 „Asfaltové směsi – Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek“ jsem vyrobil asfaltové desky ($320 \times 260 \times 40$ mm) v lamelovém zhutňovači.
- Po vložení směsi a uzavření formy jsem zhutnil a po zchladnutí jsem desku vyjmul z přístroje.

Vzorec na výpočet hmotnosti desky dle ČSN EN 12697-33:

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

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 %.



Obr. 40 Lamelový zhutňovač



Obr. 41 Vyrobená deska ze směsi SMA 8 LA

9.3.4 Komolý klín (trapezoid) pro stanovení modulů tuhosti

Zkušební zařízení a pomůcky

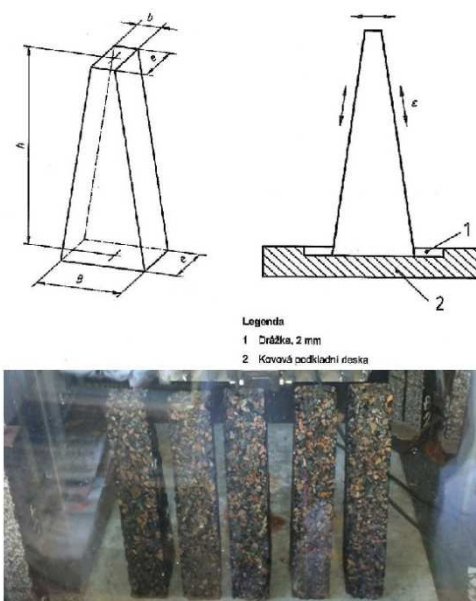
- Kotoučová pila, sada měřicích pomůcek, laboratorní váhy s dostatečnou váživostí s přesností vážení nejméně $\pm 0,1$ g, epoxidové lepidlo dvousložkové

Postup výroby vzorků:

- 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 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. 42 Kotoučová pila



Obr. 43 Nařezaná zkušební tělesa (trapezoidy) pro stanovení modulů tuhosti

9.4 Výroba směsi LOA 5

Zkušební zařízení a pomůcky

- viz. 9.2 jako v případě směsi SMA 8 LA

Postup výroby směsi:

Dle normy ČSN EN 12697-35 a navrženého složení směsi byla namíchána směs při teplotě 155°C a to následným postupem viz 9.2 SMA 8 LA.

9.5 Výroba zkušebních těles

9.5.1 Marshallova tělesa

Zkušební zařízení a pomůcky

- viz. 9.3.1

Postup výroby vzorků:

Byla pro potřeby zkoušek výroba 3 marshallových těles. Dle normy ČSN EN 12697-35 a navrženého složení směsi byla namíchána směs při teplotě 145°C. Dále viz 9.3.1



Obr. 44 Marshallova zkušební tělesa vyrobená ze směsi LOA 5D

9.5.2 Deska

Zkušební zařízení a pomůcky:

- viz. 9.3.3

Postup výroby vzorků:

Dle normy ČSN EN 12697-35 jsem měl namíchanou asfaltovou směs.

- Kamenivo a asfaltové pojivo jsem zahřál na předepsaných 155°C k míchání.
- Dle postupů držících se normy jsem namíchal směs.
- Hmotnost jsem určil dle vzorce viz 9.3.3
- Směs jsem temperoval na 145°C a dle normy ČSN EN 12697-33 „Asfaltová směs – Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek“ jsem vyrobil asfaltovou desku viz 9.3.3



Obr. 45 Zkušební deska vyrobená ze směsi SMA 8 LA

10 ZKUŠEBNÍ METODY

V této kapitole budou popsány veškeré zkoušky provedené na asfaltových směsích SMA 8 LA a LOA 5.

10.1 ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa

10.1.1 Podstata zkoušky

Objemová hmotnost zhutněného asfaltového zkušební tělesa se stanoví z hmotnosti zkušební tělesa a jeho objemu. Hmotnost zkušební tělesa se získá vážením suchého vzorku na vzduchu.

U tří prvních postupů se objem zkušební tělesa získá na základě hmotnosti na vzduchu a ve vodě.

U suchého postupu se hmotnost ve vodě stanoví bez úpravy tělesa.

Při postupu SSD se zkušební těleso nejdříve nasytí vodou a poté se jeho povrch osuší vlhkou jehlicí.

Při postupu s utěsněným zkušebním tělesem je těleso utěsněno před ponořením do vody, aby se zabránilo vniknutí nadbytku vody do mezer zkušební tělesa.

U čtvrtého postupu „podle rozměrů“ je objem zkušební tělesa získán stanovením jeho rozměrů.

10.1.2 Zkušební zařízení a pomůcky

Váhy s dostatečnou váživostí s přesností vážení nejméně $\pm 0,1$ g

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

10.2.1 Definice

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

10.2.2 Zkušební zařízení a pomůcky

Váhy s dostatečnou váživostí s přesností vážení nejméně $\pm 0,1$ g, posuvné měřítko s přesností nejméně $\pm 0,1$ mm. [16]

10.2.3 Postup zkoušky

- Stanoví se rozměry tělesa v mm podle ČSN EN 12697-29

Výška zkušební tělesa je stanovena jako průměr ze čtyř měření s přesností 0,1mm. Průměr se měří dvakrát ve směrech na sebe kolmých v horní, střední a dolní části tělesa.

- Stanoví se hmotnost suchého tělesa (m_1) s přesností 0,1g

10.2.4 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.

[16]

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

10.3.1 Zkušební zařízení a pomůcky

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]

10.3.2 Postup zkoušky

- Stanoví se hmotnost zkušební suchého tělesa (m_1).
- Stanoví se hustota vody při zkušební teplotě s přesností 0,1 kg/m³ podle tabulky 1
- Těleso se ponoří do vodní lázně temperované na známou zkušební teplotu.
- Těleso se nechá dostatečně dlouho sytit vodou tak, aby se jeho hmotnost nasycení ustálila na konstantní hodnotě.
- Stanoví se hmotnost ponořeného nasyceného zkušební tělesa (m_2).
- Těleso se vyjme z vody a povrch tělesa osuší hadrem.
- Po osušení se stanoví hmotnost nasyceného tělesa (m_3).

10.3.3 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

[16]

10.4 ČSN EN 12697-5 Stanovení maximální objemové hmotnosti

Tato evropská norma popisuje zkušební metody pro stanovení maximální objemové hmotnosti asfaltové směsi, která neobsahuje mezery. Norma uvádí volumetrický postup, hydrostatický postup a matematický postup.

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

10.4.1 Definice - maximální objemová hmotnost

Hmotnost připadající na jednotku objemu asfaltové směsi bez mezer při dané zkušební teplotě [17]

10.4.2 Zkušební zařízení a pomůcky

Destilovaná voda, rozpouštědlo, sušárna vhodná k sušení vzorků, váhy s přesností $\pm 0,1$ g, teploměr s přesností měření nejméně $\pm 0,1$ °C, pyknometry s nastavcem známého objemu V_p , vodní lázeň, dostatečné množství směsi zkoušeného vzorku, vývěva umožňující vytěsnění vzduchu z pyknometru [17]

10.4.3 Postup zkoušky

- Veškeré hmotnosti musí být stanoveny v gramech [g] s přesností 0,1 g. Objem pyknometru musí být stanoven v m³ s přesností $0,5 \times 10^{-6}$ m³.

- Stanoví se hmotnost (m_1) prázdného pyknometru s nástavcem o známém objemu V_p .
- Vysušený zkušební vzorek se umístí do pyknometru a temperuje se na okolní teplotu. Poté se znovu stanoví jeho hmotnost s nástavcem (m_2).
- Pyknometr se naplní odvzdušněnou vodou/rozpouštědlem maximálně do výšky 30mm pod okraj.
- Zachycený vzduch se odstraní použitím vakua.
- Pyknometr se vloží do vodní lázně o teplotě 25 °C na nejméně 30 min (60 min), aby se dosáhlo vyrovnání teploty vzorku a vody/rozpouštědla v pyknometru s vodní lázní.
- Destilovaná voda nebo rozpouštědlo se dolije do pyknometru po značku na nástavci. Voda musí mít stejnou teplotu jako je teplota vodní lázně, tedy 25 °C.
- Pyknometr se vyjme z vodní lázně, z vnější strany se osuší a ihned se stanoví jeho hmotnost (m_3).



Obr. 46 Pyknometr s asfaltovou směsí, tlakový hrnec[30]



Obr. 47 Vodní lázeň určená k temperování [30]

10.4.4 Výpočet maximální objemové hmotnosti

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

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

- 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 $0,1 kg/m^3$.
[17]

10.5 ČSN EN 12697-8 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí

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

Tato metoda je vhodná pro zkušební tělesa, která jsou zhutněna v laboratoři nebo pro jádrové vývrty odebrané z vozovky po pokládce a zhutnění. [18]

10.5.1 Definice

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

10.5.2 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 %.

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

- kde V_m je mezerovitost směsi s přesností 0,1 %;
 ρ_m maximální objemová hmotnost směsi v kg/m^3 ;
 ρ_b objemová hmotnost zkušební tělesa v kg/m^3 .
[18]

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

Tato norma popisuje tři zkušební metody pro stanovení účinku nasycení vodou a zrychleného temperování ve vodní lázni. Tyto metody lze použít k hodnocení účinků vody na asfaltové směsi s použitím nebo bez použití adhezních přísad včetně kapalin, jako jsou aminy, a filerů, např. hašeného vápna nebo cementu [19]

Popis metod

- metoda A využívá stanovení pevnosti v příčném tahu zkušebních těles ve tvaru válce z asfaltové směsi.
- metoda B využívá stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles ve tvaru válce z asfaltové směsi.
- metoda C definuje hodnotu ztráty hmotnosti u měkkých asfaltových směsí stanovenou po 1 hodině od výroby směsi, kdy vazbu mezi asfaltem a kamenivem lze pokládat za rovnou hodnotě ztráty hmotnosti.

Metoda C je vhodná pro měkké asfaltové směsi s asfaltem, jehož viskozita při 60°C je 4000 mm²/s nebo menší, pro něž nejsou metody A a B vhodné [19]

Zvolil jsem metodu A pro stanovení pevnosti v příčném tahu.

10.6.1 Definice

odolnost vůči působení vody (podle metody A) je vyjádřena jako hodnota ITSR získaná na zkušebních tělesech ze zhutněné asfaltové směsi.

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

pevnost v příčném tahu (ITS) - maximální tahové napětí působící na válcové zkušební těleso zatížené při specifikované zkušební teplotě a rychlosti posunu zkušebního zařízení, stanoveno podle ČSN EN 12697-23. [19]

10.6.2 Zkušební zařízení a pomůcky

- 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 (25 ± 2) °C v blízkosti zkušebních těles. Vhodná ochrana před vodou při temperování těles ve vodě. [19]

10.6.3 Příprava zkušebních těles

Pro každý zkoušený vzorek se připraví nejméně šest zkušebních těles ve tvaru válce. Rozměry a objemové hmotnosti každého ze zkušebních těles se stanoví podle ČSN EN 12697-29 a nebo EN 12697-6. Zkušební tělesa se rozdělí do dvou skupin, které mají stejnou průměrnou výšku a průměrnou objemovou hmotnost. Rozdíl průměrné výšky nesmí být větší než 5 mm. Rozdíl průměrných objemových hmotností nesmí být vyšší než 15 kg/m^3 . Zkušební tělesa musí být stejného stáří (připravena během jednoho týdne). Před zahájením postupu temperování se umožní zrání zkušebních těles po dobu 16h až 24h, [19]

10.6.4 Temperování zkušebních těles

Suchá tělesa. Skupina suchých zkušebních těles se uloží na rovném povrchu při laboratorní teplotě (20 ± 5) °C.

Mokrá tělesa. Skupina mokrých zkušebních těles se uloží na perforovanou vložku ve vakuové komoře naplněné destilovanou vodou o teplotě 20 ± 5 °C do úrovně 20 mm nad horním povrchem zkušebních těles. Ve vakuové komoře byl během 10 ± 1 min vytvořen absolutní (zbytkový) tlak $6,7 \pm 0,3$ kPa. Tlak se snižuje postupně, aby nedošlo k poškození zkušebních těles rozpínajícím se vzduchem. Požadovaný tlak se udržuje po dobu 30 ± 5 min. Potom se pomalu vpouští atmosférický tlak do vakuové komory. Zkušební tělesa se ponechají ponořena ve vodě po dobu dalších 30 ± 5 min. Vypočítá se objem zkušebních těles podle některé z metod uvedených v EN 12697-6. Zkušební tělesa, jejichž objem se zvýšil o více než 2% se vyloučí. Skupinu mokrých těles vložil do vodní lázně o teplotě 40 ± 1 °C na dobu 72 hodin. [19]

10.6.5 Postup zkoušky

- Skupina suchých zkušebních těles se zahřeje na zkušební teplotu tak, že se uloží do vodní lázně, zkušební těleso se přitom chrání proti vodě měkkým plastovým sáčkem nebo jinou vhodnou vodotěsnou ochranou zaručující těsné přilnutí vodotěsné ochrany k povrchu zkušebního tělesa a tím zajištění adekvátního přenosu tepla.
- Skupina mokrých zkušebních těles se zahřeje na zkušební teplotu tak, že se uloží přímo do vodní lázně na dobu nejméně 2h v případě zkušebních těles o

průměru menším než 150 mm. Povrch mokrých zkušebních těles se osuší osuškou a ihned se stanoví pevnost v příčném tahu podle postupu uvedeného v EN 12697-23.

- Zkouška pevností v příčném tahu se musí provést do 1 minuty po vyjmutí zkušebního tělesa z temperované vodní lázně.
- Zkušební tělesa se vloží do tlačných čelistí lisu.
- Spustí se stlačování.
- Zatížení musí působit nepřerušovaně, bez nárazů, dokud se nedosáhne maximálního zatížení.
- Zaznamenává se maximální dosažená metoda. [19]

10.6.6 Výpočet pevnosti v příčném tlaku ITS

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

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

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

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

[20]

10.6.7 Výpočet odolnosti vůči vodě

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

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

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.

[19]

10.7 ČSN EN 12697-22 Zkouška pojíždění kolem

Tato evropská 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, která jsou vyrobena v laboratoři nebo odebraná z vozovky.

Na náchylnost k trvalé deformaci je usuzováno 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]

10.7.1 Zkušební zařízení a pomůcky

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

10.7.2 Postup zkoušky

- Zkušební tělesa se temperují v sušárně na požadovanou zkušební teplotu.
- Poté se zkušební těleso vloží 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.



Obr. 48 Zkušební zařízení pro pojíždění desek

10.7.3 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]

10.8 ČSN EN 12697-26 Tuhost

Norma popisuje zkušební metody, jejichž cílem je charakterizovat tuhost asfaltových směsí pomocí alternativních zkoušek, včetně zkoušek ohybem a zkoušek v prostém a příčném tahu. Tyto zkoušky se provádějí na zhutněném asfaltovém materiálu při vynuceném ustáleném harmonickém zatížení. Měří se amplituda napětí a poměrného přetvoření spolu s fázovým úhlem mezi napětím a poměrným přetvořením. [22]

10.8.1 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]

10.8.2 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 zkušební vzorku umístěný v temperovaném prostoru. Nucený posuv táhla a vzniklá silová reakce vzorku jsou měřeny elektrickým snímačem deformace a snímačem síly. [22]

10.8.3 Měření komplexního modulu tuhosti

Díky vizkoelastickým vlastnostem 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 $5 \cdot 10^{-5} \text{m/m}$, 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 $+15^\circ \text{C}$. Při měření modulu tuhosti byly nastaveny zatěžovací frekvence 5, 10, 15, 20 a 25 Hz. [22]

10.8.4 Postup zkoušky

Modul tuhosti zjistíme ze zkoušky, která je provedena jako dvoubodový ohyb na tělesech tvaru jednostranně vetknutého komolého klínu.

- Zkušební tělesa se vloží do temperovací komory, aby dosáhla požadované zkušební teploty.
- Poté se těleso upevní do zkušebního zařízení.
- Spodní část tělesa je vetknuta přes podkladní kovovou desku a horní část se upne k táhlu se snímačem síly a deformace.
- Do počítače se vloží vstupní data o rozměrech a hmotnosti zkušebních těles, nastaví se požadovaná frekvence a spustí se zkušební zařízení.
- Změříse 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 $+15^\circ \text{C}$. [22]



Obr. 49 Zařízení pro měření modulů tuhosti asfaltových směsí



Obr. 50 Zařízení pro měření modulů tuhosti asfaltových směsí

10.9 Měření akustické pohltivosti

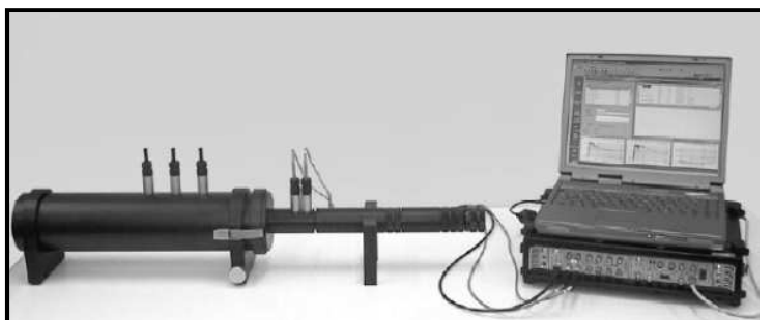
Na jedné desce vyrobené z prvního návrhu směsi SMA 8 LA a na jedné desce z LOA 5 byla změřena akustická pohltivost pomocí impedanční trubice.

10.9.1 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 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]

10.9.2 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 mikrofónů a otvorem pro vkládání vzorku zkoumaného materiálu. Měření akustické pohltivosti lze provádět pro jednotlivé frekvence samostatně nebo širokopásmově při použití zbylého šumu jako zdroje signálu pro zabudovaný reproduktor. [23]



Obr. 51 Impedanční trubice [23]



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

11 VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

V kapitole 11 je uveden souhrn výsledků provedených zkoušek obou směsí uspořádaný do tabulek a grafů.

11.1 Vyhodnocení objemové hmotnosti a maximální objemové hmotnosti

Z každé směsi jsem vyrobil 3 Marshallova tělesa. Z jednotlivých těles obou směsí byla vyhodnocena objemová hmotnost, maximální objemová hmotnost a mezerovitost. Objemová hmotnost byla stanovena způsobem B a C (viz. 10.6). Výsledky jsou uvedeny v následujících tabulkách. Maximální objemová hmotnost je stanovena pomocí pyknometru.

11.1.1 SMA 8 LA

Tab. 15 Rozměry Marshallových těles

Číslo vzorku	Průměrná výška [mm]	Průměr [mm]
I	70,4	101,8
II	66,1	102,0
III	63,6	102,2

Tab. 16 Objemová hmotnost Marshallových těles podle rozměrů

Číslo vzorku	I	II	III
Průměrná výška [mm]	70,4	66,1	63,6
Průměr [mm]	101,8	102	102,2
Hmotnost m [g]	1153,4	1088,0	1074,1
Objemová hmotnost ρ_b [kg/m ³]	2011	2014	2067
Průměrná objemová hmotnost ρ_b [kg/m ³]	2031		

Tab. 17 Objemová hmotnost Marshallových těles – nasycený suchý povrch

Číslo vzorku	I	II	III
Hmotnost suchého tělesa m_1 [g]	1153,4	1088,0	1074,1
Hmotnost tělesa ve vodě m_2 [g]	655,1	618,7	606,7
Hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově ošetřeného m_3 [g]	1177,7	1111,2	1092,1
Hustota vody při 22 °C [kg/m^3]	997,8	997,8	997,8
Objemová hmotnost tělesa [kg/m^3]	2203	2205	2208
Průměrná objemová hmotnost ρ [kg/m^3]	2205		

Tab. 18 Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi

Pyknometr	I	II	III
Hmotnost prázdného pyknometru – m_1 [g]	384,2	379,0	397,0
Hmotnost pyknometru a zk. vzorku – m_2 [g]	937,9	952,9	953,4
Hmotnost pyknometru, zk. vzorku a vody nebo rozpouštědla - m_3 [g]	1371,1	1378,4	1573,4
Objem pyknometru V_p [ml]	658,0	658,4	658,4
Hustota vody při zkušební teplotě 25 °C	997,1	997,1	
Hustota rozpouštědla při 25 °C			1453
Maximální objemová hmotnost $\rho_{mv,i}$ [kg/m^3]	2472	2464	2483
Průměrná maximální objemová hmotnost ρ_{mv} [kg/m^3]	2468		

11.1.2 LOA 5

Tab. 19 Rozměry Marshallových těles

Číslo vzorku	Průměrná výška [mm]	Průměr [mm]
I	64,4	103,5
II	64,8	102,1
III	64,8	102,1

Tab. 20 Objemová hmotnost Marshallových těles podle rozměrů

Číslo vzorku	I	II	III
Průměrná výška [mm]	64,4	64,8	64,8
Průměr [mm]	103, 5	102,1	102,1
Hmotnost m [g]	1151,2	1150,4	1147,5
Objemová hmotnost ρ_b [kg/m^3]	2128,6	2170,6	2164,0
Průměrná objemová hmotnost ρ_b [kg/m^3]	2154		

Tab. 21 Objemová hmotnost Marshallových těles – nasycený suchý povrch

Číslo vzorku	I	II	III
Hmotnost suchého tělesa m_1 [g]	1148,0	1151,0	1150,1
Hmotnost tělesa ve vodě m_2 [g]	641,0	639,9	642,0
Hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově ošetřeného m_3 [g]	1152,7	1151,0	1153,0
Hustota vody při 22 °C [kg/m ³]	997,8	997,8	997,8
Objemová hmotnost tělesa [kg/m ³]	2237,0	2241,0	2250,0
Průměrná objemová hmotnost	2243		

Tab. 22 Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi

Pyknometr	I	II
Hmotnost prázdného pyknometru – m_1 [g]	379,0	384,2
Hmotnost pyknometru a zk. vzorku – m_2 [g]	886,5	394,9
Hmotnost pyknometru, zk. vzorku a vody nebo rozpouštědla – m_3 [g]	1335,4	1367,3
Objem pyknometru V_p [ml]	658,4	658,0
Hustota vody při zkušební teplotě 25 °C	997,1	997,1
Maximální objemová hmotnost $\rho_{mv,i}$ [kg/m ³]	2438,2	2435,4
Průměrná maximální objemová hmotnost ρ_{mv} [kg/m ³]	2437	

11.2 Vyhodnocení mezerovitosti

11.2.1 SMA 8 LA

Tab. 23 Mezerovitost

	Maximální objemová hmotnost ρ_m [kg/m ³]	Objemová hmotnost ρ_b [kg/m ³]	Mezerovitost t_{Vm} [%]
dle rozměrů	2468	2031	17,71
nasycený suchý povrch	2468	2205	10,65

11.2.2 LOA 5D

Tab. 24 Mezerovitost

	Maximální objemová hmotnost ρ_m [kg/m ³]	Objemová hmotnost ρ_b [kg/m ³]	Mezerovitost V_m [%]
Dle rozměrů	2436,8	2154	11,60
Nasycený suchý povrch	2436,8	2243	7,95

11.3 Vyhodnocení zkoušky odolnosti vůči vodě (ITSR)

Zkouška odolnosti těles vůči vodě (ITSR) byla provedena pouze u první směsi. Minimální kategorie poměru pevnosti v příčném tahu ITSR dle ČSN EN 13108-5 je pro směs ITSR₈₀ (min. 80 %).

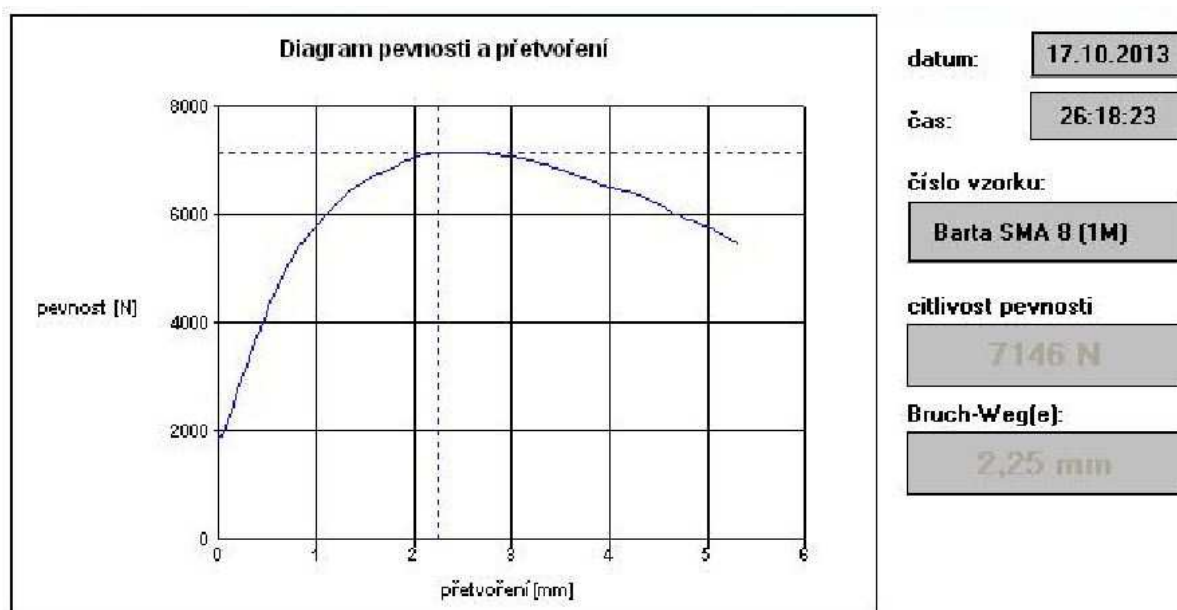
11.3.1 SMA 8 LA

Tab. 25 Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost Marshallových těles)

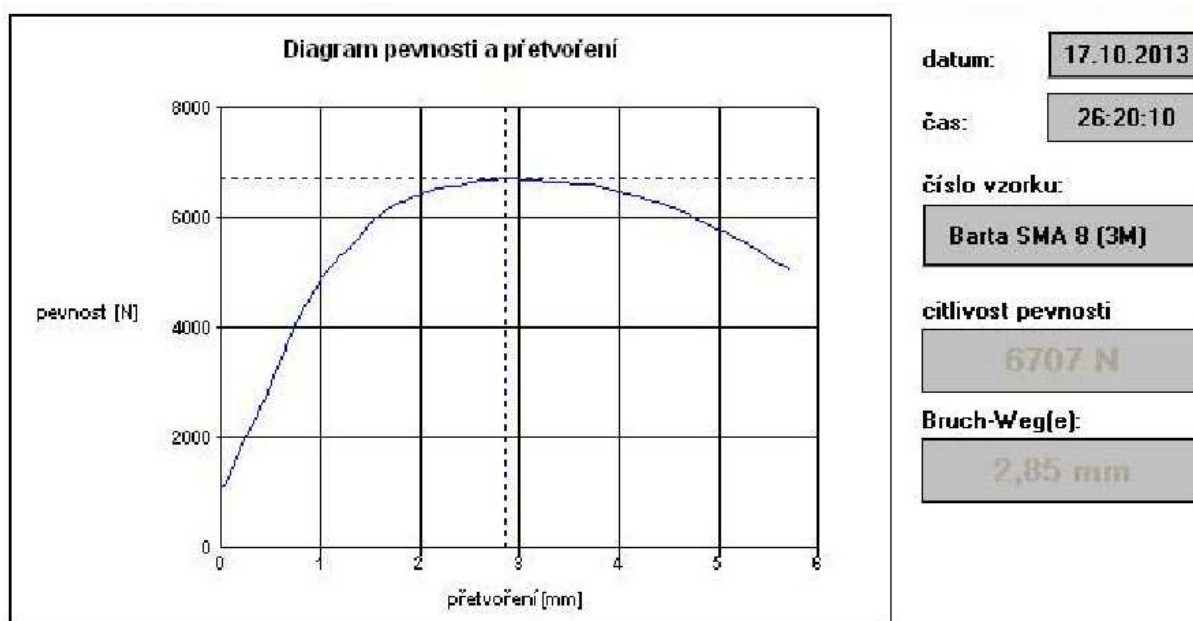
Vzorky	Mokrý			Suchý		
	1	3	5	2	4	6
Průměrná výška [mm]	62,9	62,5	63,8	62,7	61,3	60,9
Průměrná hodnota průměrů [mm]	102,4	102,3	102,3	102,0	101,9	102,1
Hmotnost [g]	1053,4	1053,3	1072,9	1058,1	1041,9	1041,7
Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]	2033,9	2048,2	2044,8	2065,2	2083,9	2090,2

Tab. 26 Hodnota odolnosti vůči vodě (ITSR) směsi SMA LA

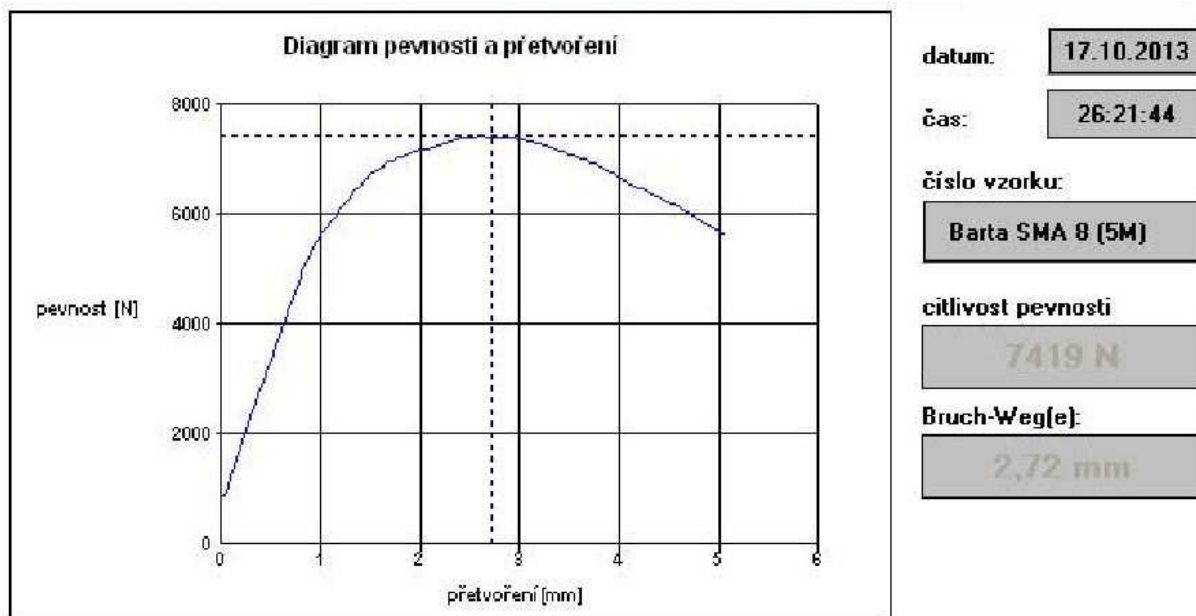
	Mokrý			Suchý		
	1	3	5	2	4	6
Zatížení P [kN]	7,146	6,707	7,412	8,125	7,782	9,169
Pevnost ITS	0,706	0,654	0,756	0,808	0,775	0,938
Průměr pevnosti ITS	0,705			0,841		
ITRS v %	83,9					



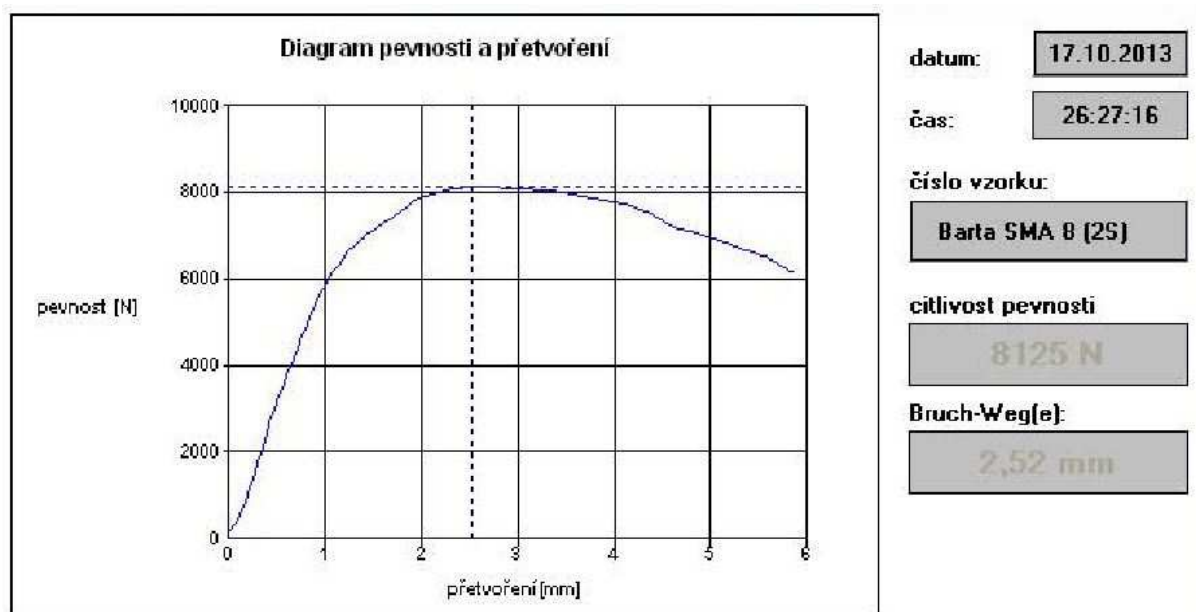
Graf 21 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles –zkušební vzorek 1 při zkoušce ITSR



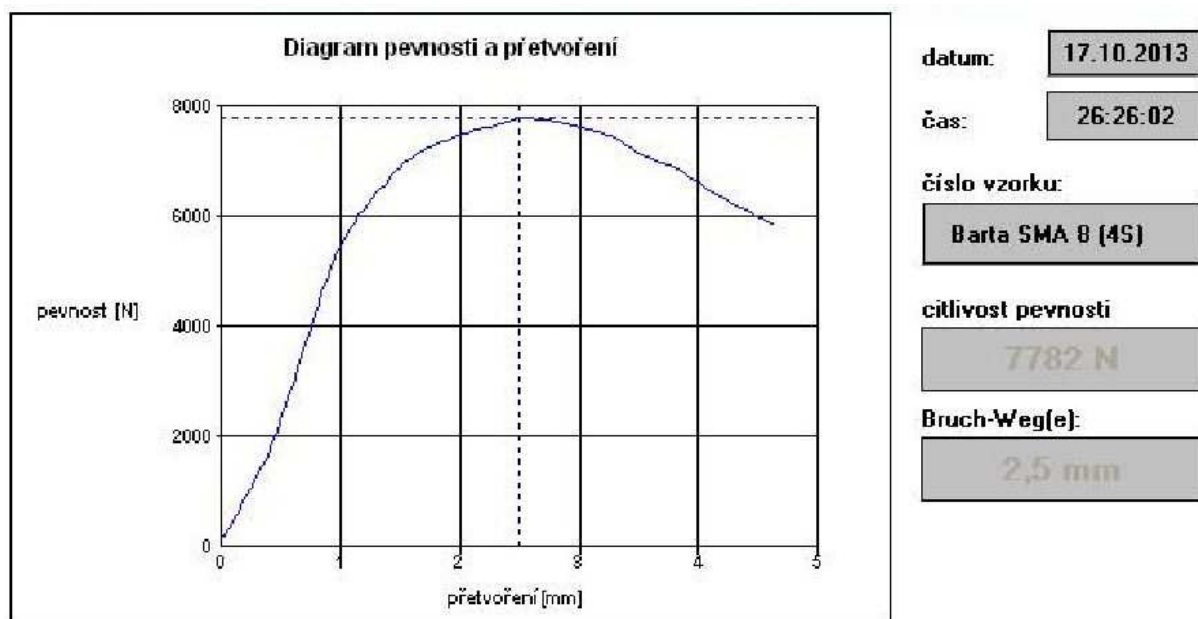
Graf 22 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles –zkušební vzorek 3 při zkoušce ITSR



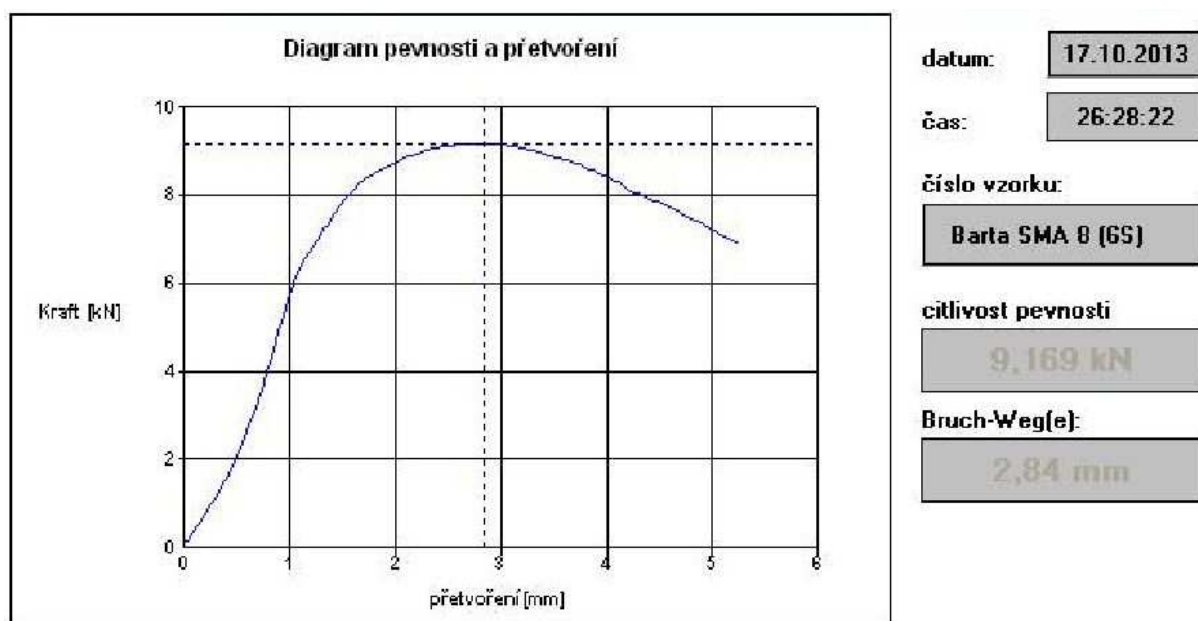
Graf 23 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles –zkušební vzorek 5 při zkoušce ITSR



Graf 24 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles –zkušební vzorek 2 při zkoušce ITSR



Graf 25 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles –zkušební vzorek 4 při zkoušce ITSR



Graf 26 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles –zkušební vzorek 6 při zkoušce ITSR

11.4 Vyhodnocení komplexních modulů tuhosti a odolnosti proti trvalým deformacím

11.4.1 SMA 8 LA

Zkouška odolnosti vůči vzniku trvalých deformací metodou pojíždění kolem se prováděla na dvou ztuhlých deskách o tloušťce 40 mm podle ČSN EN 12697-22.

Rozměry:

Tab. 27 Rozměry a hmotnost desky 1

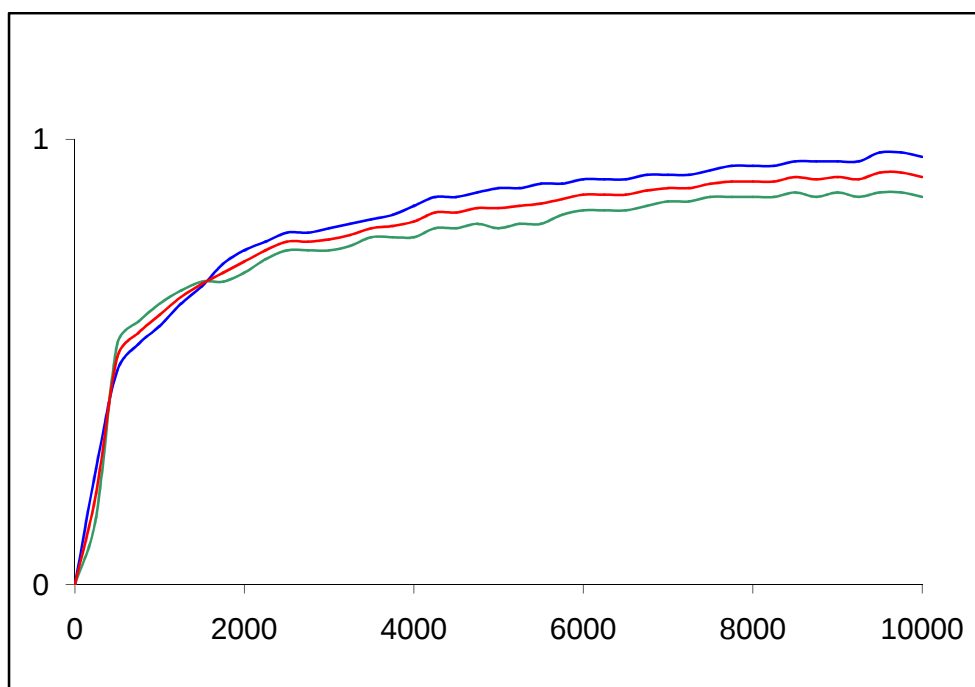
Deska SMA 8 LA – 1	
Průměrná výška h [mm]	40,5
Průměrná šířka b [mm]	322,4
Průměrná délka l [mm]	260,9
Hmotnost m [g]	7167

Tab. 28 Rozměry a hmotnost desky 3

Deska SMA 8 LA – 3	
Průměrná výška h [mm]	42,1
Průměrná šířka b [mm]	322,6
Průměrná délka l [mm]	261,2
Hmotnost m [g]	7817

Tab. 29 Vyhodnocení zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím

Kolo	Průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	Průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	d _{10 000} - d _{5 000} (mm)	
1	0,89	0,96	0,07	
2	0,80	0,87	0,07	
Průměr	0,85	0,92	0,07	
Přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{(d_{10\,000} - d_{5\,000})}{5}$		0,014	mm
PRD _{AIR}			2,1	%



Graf 27 Průběh hloubky vyjeté koleje: Zelená kolo1, Modrá kolo2, Červená průměr

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 směr typu SMA 8 S parametr WTS_{AIRV} maximální hodnotě $0,07\text{ mm}/10^3\text{ cyklů}$ a parametr PRD_{AIRV} maximální hodnotě 5 %. Směr SMA 8 LA v obou případech v těchto požadavcích vyhovuje.

11.5 Vyhodnocení zkoušky měření komplexních modulů tuhosti

Zde byly vyhodnocovány výsledky ze zkoušky měření komplexních modulů tuhosti směsi SMA 8 LA. Směr SMA 8 LA byla porovnávána se staršími výsledky směsi SMA 8 LA.

Laboratorní podmínky pro zkoušku měření komplexních modulů tuhosti:

Teplota: 15°C (Zkouška by se měla provádět při teplotách -5 , 10 , 15 , 25 a 40°C , ale z důvodu časové náročnosti zkoušky a velkého počtu zájemců o laboratorní zařízení byla provedena pouze při teplotě 15°C),

Frekvence: 5 , 10 , 15 , 20 , 25 Hz .

Bylo zkoušeno 5 vzorků (trapezoidy).

11.5.1 SMA 8 LA

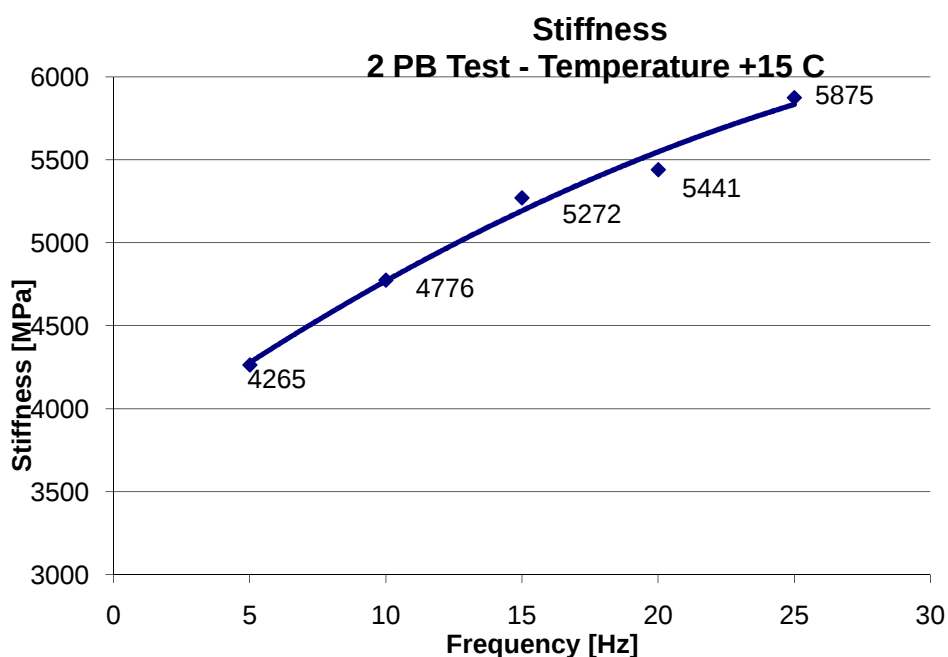
V Tabulkách jsou uvedeny rozměry, hmotnost trapezoidů a záznam ze zkoušky měření komplexních modulů tuhosti

Tab. 30 Průměrné rozměry, hmotnost trapezoidů

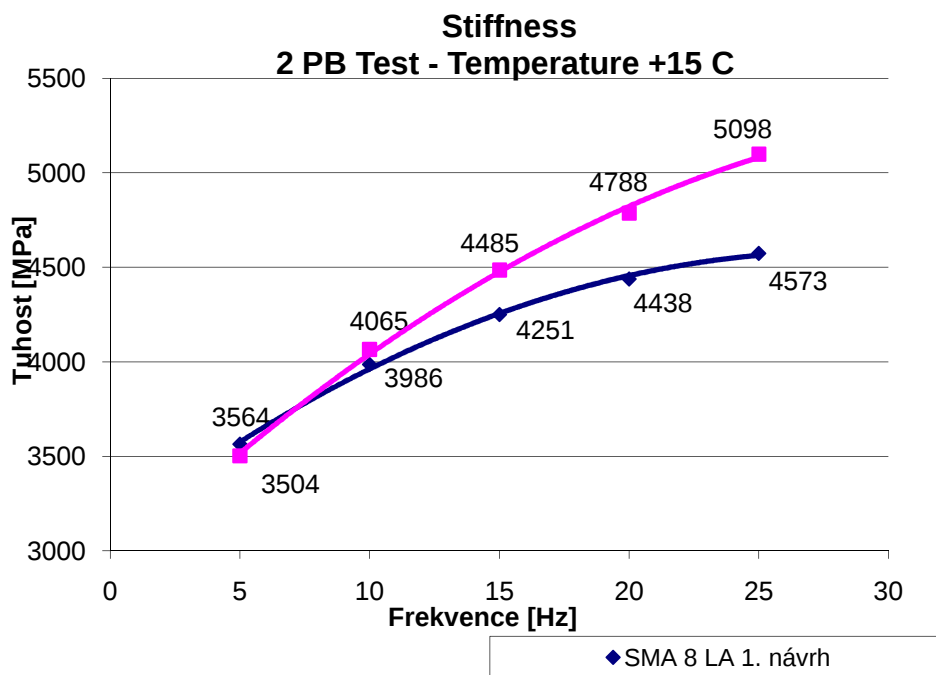
Číslo prvku	1	2	3	4	5
Průměrná výška h [mm]	249,2	249,5	249,7	249,82	245,2
Průměrná šířka horní základny b [mm]	25	28,4	24,8	28,1	26,3
Průměrná šířka dolní základny B [mm]	70	70	71	70	71,2
Průměrná šířka prvku e [mm]	42,45	42,33	41,97	42,33	42,62
Hmotnost [g]	1076,5	1125,1	1088,7	1127	1114,9

Tab. 31 Záznam ze zkoušky měření komplexních modulů tuhosti

Frekvence [Hz]	5	10	15	20	25
Modul tuhosti SMA LA [MPa]	4265	4776	5272	5441	5875



Graf 28 Závislost modulu tuhosti na frekvenci zatěžování



Graf 29 Výsledky modulu tuhosti závislé frekvenci zatěžování převzaté z výsledku předchozích návrhů směsí SMA 8 LA [30]

V porovnání s dřívějšími výsledky z grafů je patrné, že hodnoty modulů tuhosti směsí SMA 8 LA při teplotě 15 °C a frekvenci zatěžování 10 Hz (3986 MPa a 4065 MPa) jsou nižší než u nov navržené směsi (4776 Mpa).

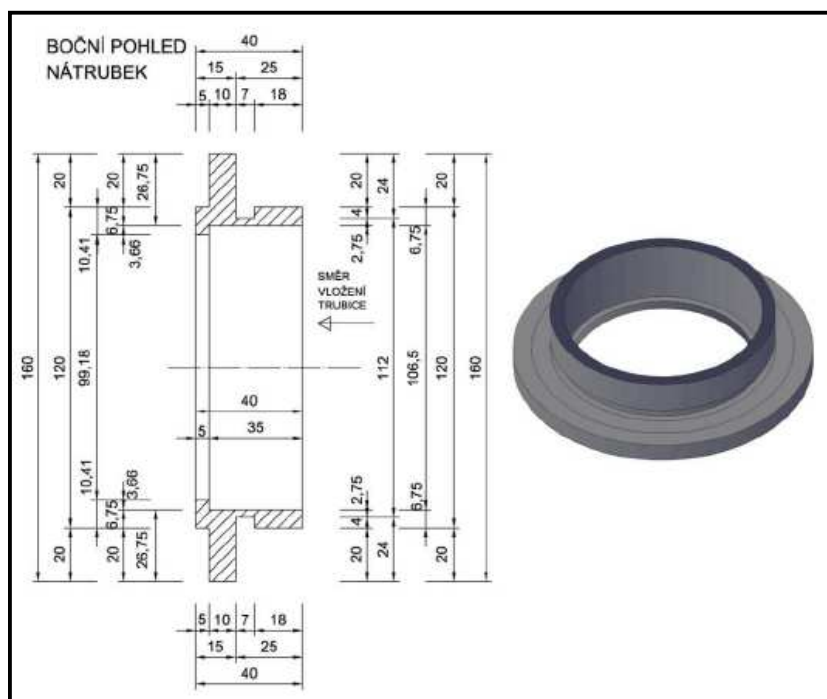
11.6 Vyhodnocení měření akustické pohltivosti

Směs SMA 8 LA se měřila na akustickou pohltivost impedanční trubicí, která byla přiložena k desce se speciálním nástavcem.

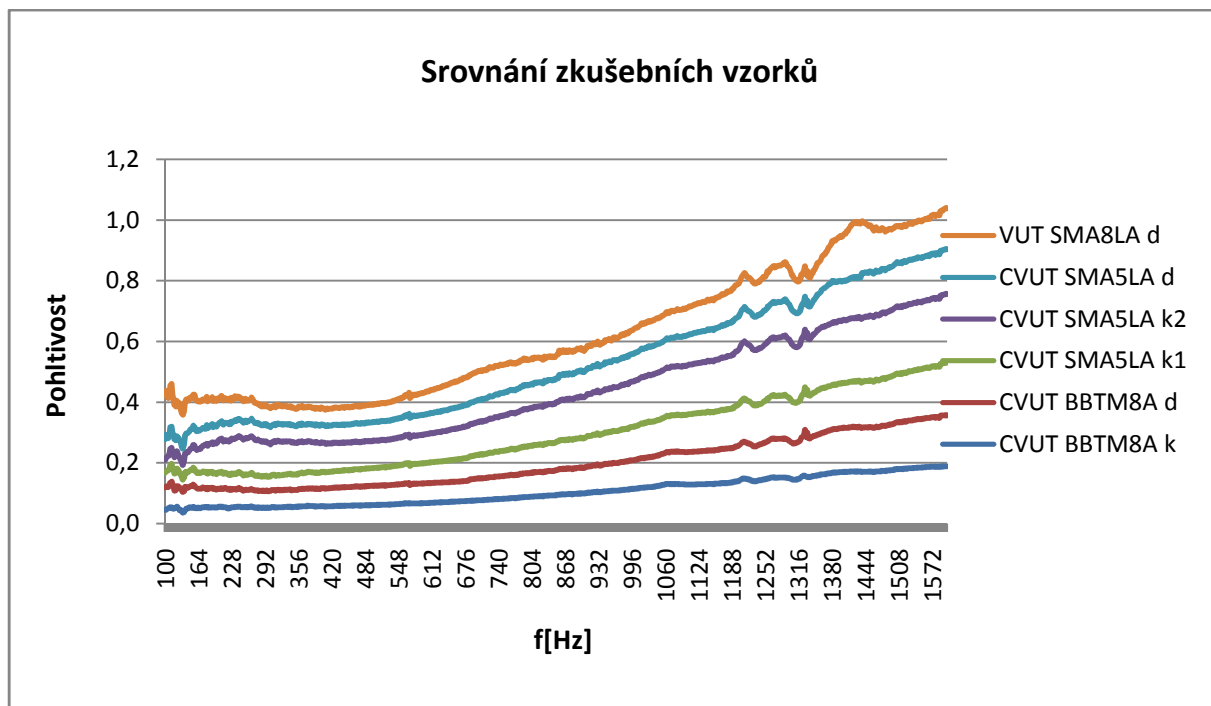
Akustické pohltivost je v Grafu 30 porovnána s ostatními nízkohlučnými povrchy, kde tato měření byla dříve provedena. Směs SMA 8 LA prokázala největší akustickou pohltivost.

Tab. 32 Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 2 – SMA 8 LA

Deska SMA 8 LA - 2		Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
výška h [mm]	40,6	7093	2073
šířka b [mm]	322,6		
délka l [mm]	261,3		



Obr. 53 Pohled na nátrubek [25]



Graf 30 Srovnání akustické pohltivosti několika vzorků se směsí SMA 8 LA (oranžová barva)

12 ZÁVĚR

Teoretická část mé diplomové práce se dotýká problému dopravního hluku a možností, jak ho aktivně i pasivně snižovat. Popisuji zde některé typy nízkohlučných krytů vozovek, způsoby jejich aplikace, a vždy se snažím krátce zhodnotit jejich klady a zápory. Blíže se v práci zaměřuji na směsi nízkohlučných koberců mastixových.

Pokud chceme na technologie nízkohlučných vrstev pohlížet komplexně, nestojí v popředí jejich využívání jen tlumení hluku. Jejich životnost je delší, což kompenzuje vyšší náklady nejen při výstavbě, ale i údržbě.

V praktické části práce jsem vyhodnocoval na základě laboratorních testů dva nízkohlučné mastixové koberce - asfaltový koberec mastixový (SMA 8 LA) a „düsseldorfskou asfaltovou směs“ (LOA 5D).

V laboratoři jsem připravil podle norem vzorky SMA 8 LA a LOA 5D a na nich provedl zkoušky mezerovitosti, odolnosti těles vůči vodě, tuhosti zkušebních těles, akustické pohltivosti a zkoušku pojíždění kolem. Dále jsem zpracoval a porovnal výsledky měření a provedl jejich vyhodnocení.

Všechny získané výstupy z provedených zkoušek vyšly v rámci norem velmi dobře. Tím se ale pole zkoumání nízkohlučných mastixových vrstev neuzavírá. Právě zde je velký potenciál ke zkoumání a vyhodnocování nových nízkohlučných krytů a také k návrhům a zkouškám zcela nových typů nízkohlučných krytů vozovek. Doporučuji další výzkum nejen v rámci diplomových prací na toto téma.

13 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 Hygienické limity [8] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 2 Zdroje hluku z dopravy produkované automobilem[3] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 3 Radiální oscilace, air pumping, tření [4] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 4 Rozdělení textury a nerovností povrchu vozovky z hlediska délky vlny [5] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 5 Rozdíl mezi mikrotexturou a makrotexturou vozovky [5] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 6 Mezerovitost ovlivňující snižování hluku od dopravy[3] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 7 Princip fungování protihlukových stěn [3] [9] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 8 Prefabrikované stěny kombinované s vegetací [13] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 9 Protihluková stěna pevná betonová [24] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10 Protihluková stěna montovaná [26] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 11 Speciální vymetací kartáč [27] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 12 CB kryt s vymývaným povrchem [3] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 13 Cementový kryt s výbrusy[5] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 14 Povrch vozovky texturovaný speciálními hráběmi [8] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 15 Povrch vozovky texturovaný hrubou tkaninou (vlečenou jutou) [8] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 16 Kombinace hrubé tkaniny a speciálních hrábí [8] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 17 Systém Italgrip a) povrch bez nátěru, b) povrch s nátěrem, c) fotografie povrchu [5]
Chyba! Záložka není definována.
- Obr. 18 Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy (BBTM)[5] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 19 Asfaltový koberec Viaphone [28] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 20 Míchací souprava ECOPATH pro přípravu gumoasfaltového pojiva [12] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 21 Zajištění koheze u PA [3] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 22 Detail dvouvrstvého asfaltového koberce drenážního [5] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 23 Detail drenážního koberce v řádném stavu koberce (vlevo), detail zaneseného drenážního koberce[14] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 24 Poškozená místa SMA LA v oblasti BAB A93 u Schwandorfu [15] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 25 Teplota povrchu SMA LA na desce finišeru [15] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 26 Teplota ohrusné vrstvy po zastavení finišeru [15] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 27 Hutnící válec při pracích na povrchu LOA 5D[29] **Chyba! Záložka není definována.**

Obr. 28	Měření metodou CPX[29].....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 29	Modicel.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 30	Asfaltové pojivo TOTAL 50/70.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 31	Kamenivo frakce 0/4 a 2/4.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 32	Laboratorní přístroj na provedení síťového rozboru.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 33	Laboratorní sušárna.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 34	Míchací zařízení na promíchání asfaltové směsi.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 35	Rázový zhutňovač.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 36	Chladicí zařízení s ventilátorem.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 37	Výtlačné zařízení.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 38	Marshallova zkušební tělesa ze směsi SMA 8 LA.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 39	Marshallova zkušební tělesa vyrobená ze směsi SMA 8 LA na zkoušku ITSRC	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 40	Lamelový zhutňovač.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 41	Vyrobená deska ze směsi SMA 8 LA.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 42	Kotoučová pila.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 43	Nařezaná zkušební tělesa (trapezoidy) pro stanovení modulů tuhosti	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 44	Marshallova zkušební tělesa vyrobená ze směsi LOA 5D.	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 45	Zkušební deska vyrobená ze směsi SMA 8 LA.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 46	Pyknometr s asfaltovou směsí, tlakový hrnec [30].....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 47	Vodní lázeň určená k temperování [30].....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 48	Zkušební zařízení pro pojíždění desek.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 49	Zařízení pro měření modulů tuhosti asfaltových směsí ...	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 50	Zařízení pro měření modulů tuhosti asfaltových směsí ...	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 51	Impedanční trubice [23].....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 52	Měření akustické pohltivosti impedanční trubicí na desce ze SMA 8 LA.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 53	Pohled na nátrubek [25].....	Chyba! Záložka není definována.

14 SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Vývoj technologie – asfaltová pojivová vrstva + SMA LA od 2005 do 2011 [15].....	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 2	Zvolené varianty procentuálního zastoupení frakcí kameniva [15]	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 3	Výsledky zkoumaných variant [15]	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 4	Změna rozvrstvení velikosti zrn v závislosti na energii zhutnění [15]	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 5	Výpis požadavků na SMA LA, stav 04/2011 [15]	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 6	Srovnání PA 8 a SMA 8 LA.....	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 7	Sítový rozbor frakce 4/8 mm	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 8	Sítový rozbor frakce 0/4 mm	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 9	Sítový rozbor vápencové moučky.....	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 10	Sítový rozbor frakce 2/4 mm	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 11	Sítový rozbor frakce 0/4 mm	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 12	Sítový rozbor vápencové moučky.....	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 13	Sítový rozbor frakcí kameniva, vápencové moučky a výsledná zrnitost směsi	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 14	Sítový rozbor frakcí kameniva, vápencové moučky a výsledná zrnitost směsi	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 15	Rozměry Marshallových těles.....	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 16	Objemová hmotnost Marshallových těles podle rozměrů...	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 17	Objemová hmotnost Marshallových těles – nasycený suchý povrch	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 18	Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 19	Rozměry Marshallových těles.....	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 20	Objemová hmotnost Marshallových těles podle rozměrů...	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 21	Objemová hmotnost Marshallových těles – nasycený suchý povrch	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 22	Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 23	Mezerovitost	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 24	Mezerovitost	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 25	Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost Marshallových těles)	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 26	Hodnota odolnosti vůči vodě (ITSR) směsi SMA LA.....	Chyba! Záložka není definována.

Tab. 27	Rozměry a hmotnost desky 1	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 28	Rozměry a hmotnost desky 3	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 29	Vyhodnocení zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 30	Průměrné rozměry, hmotnost trapezoidů	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 31	Záznam ze zkoušky měření komplexních modulů tuhosti....	Chyba! Záložka není definována.
Tab. 32	Rozměry, hmotnost a objemová hmotnost desky 2 – SMA 8 LA – 1. návrh	Chyba! Záložka není definována.

15 SEZNAM GRAFŮ

- Graf 1 Hladina akustického tlaku [6] **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 2 Vliv rychlosti na silu akustického tlaku [5]..... **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 3 Hladiny hluku osobních a nákladních vozidel na dálničních površích [5]. **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 4 Hladiny hluku v závislosti na textuře pro osobní automobil jedoucí rychlostí 90 km/h [5]
Chyba! Záložka není definována.
- Graf 5 Vliv rychlosti na hluk ze silniční dopravy v závislosti na podílu nákladních vozidel [5].. **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 6 Vliv snížení intenzity dopravy [5]..... **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 7 Použití krycích vrstev v závislosti na rychlosti jízdy [15] **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 8 SPB-snižování hluku SMA0/8 S-LA / SMA 8 LA od roku 2005 do 2010 [15] **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 9 Mezerovitost v závislosti na objemu pojiva [15] **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 10 Moduly zkoumaných SMA LA a ohrusných vrstev PA (pro $f = 10$ Hz) [15] ... **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 11 Normované doby životnosti zkoumaných variant [15] **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 12 Srovnání hlučnosti na zkušebním úseku a starém povrchu[29] **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 13 Čára zrnitosti frakce 4/8 mm **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 14 Čára zrnitosti frakce 0/4 mm **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 15 Čára zrnitosti vápencové moučky..... **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 16 Čára zrnitosti frakce 2/4 mm **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 17 Čára zrnitosti..... **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 18 Čára zrnitosti vápencové moučky..... **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 19 Výsledný návrh čáry zrnitosti směsi SMA 8 LA **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 20 Výsledný návrh čáry zrnitosti směsi LOA 5D **Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 21 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles –zkušební vzorek 1 při zkoušce ITSR
Chyba! Záložka není definována.
- Graf 22 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles –zkušební vzorek 3 při zkoušce ITSR
Chyba! Záložka není definována.
- Graf 23 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles –zkušební vzorek 5 při zkoušce ITSR
Chyba! Záložka není definována.
- Graf 24 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles –zkušební vzorek 2 při zkoušce ITSR
Chyba! Záložka není definována.

- Graf 25 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles –zkušební vzorek 4 při zkoušce ITSr
Chyba! Záložka není definována.
- Graf 26 Diagram pevnosti a přetvoření Marshallových těles –zkušební vzorek 6 při zkoušce ITSr
Chyba! Záložka není definována.
- Graf 27 Průběh hloubky vyjeté koleje: Zelená kolo1, Modrá kolo2, Červená průměr.....**Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 28 Závislost modulu tuhosti na frekvenci zatěžování**Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 29 Výsledky modulu tuhosti závislé frekvenci zatěžování převzaté z výsledku předchozích návrhů směsí SMA 8 LA [30]**Chyba! Záložka není definována.**
- Graf 30 Srovnání akustické pohltivosti několika vzorků se směsí SMA 8 LA (růžová barva)...**Chyba! Záložka není definována.**

16 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] VARAUS, Michal. *Nízkohlučené asfaltové koberce mastixové* [CD]. vyd. Asfaltové vozovky '11, České Budějovice, Pragoprojekt a. s., 2011[cit. 2013-12-26].

[2] Hluk a další fyzikální faktory. In: [online]. [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: www.zubarno.cz/studie/kap06.htm

[3] Snižování hluku možnými úpravami ohrusné vrstvy vozovky. In: MONDSCHNEIN, Petr a Jan Valentin. *Silnice železnice* [online]. 7.12.2010 [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/snizovani-hluku-moznymi-upravami-obrusne-vrstvy-vozovky/>

[4] Automobilový hluk. In: GOTTVÁLDOVÁ, Jana. *Silnice železnice* [online]. 26.8.2011 [cit. 2013-12-26]. 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. 2013-12-26]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/170>

[6] Snížení hluku a vibrací – Doc. Ing. Richard Nový, CSc., Ing. Miroslav Kučera. Dostupné z: http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/SHV/Novy_Kucera_Snizovani_hluku_a_vibraci.pdf

[7] Hluk na styku pneumatika – vozovka. In: SMUTNÝ, Jaroslav, Luboš PAZDERA a Jana GOTTVÁLDOVÁ. *Silnice železnice* [online]. 18.1.2012 [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/hluk-na-styku-pneumatika-vozovka/>

[8] Hluk z dopravy – Strategické hlukové mapy, hodnocení hluku. In: KŘIVÁNEK, Vítězslav. *Centrum dopravního výzkumu* [online]. 2013 [cit. 2013-12-25]. Dostupné z: www.cdv.cz

[9] Přehled vlastností pohltivých protihlukových stěn na českém trhu. In: HELA, Rudolf. *Časopis stavebnictví* [online]. 2010 [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/prehled-vlastnosti-pohltych-protihlukovych-sten-na-ceskem-trhu_N3475

[10] Hluk jako průvodní jev dopravy: Zdeněk Faltýnek. Dopravní fakulta Jan Pernera, Univerzita Pardubice [cit. 2013-12-25] Dostupné z: http://envi.upce.cz/pisprace/ks_pce/faltynnek.pdf.

[11] O GUMOASFALTU. In: *Gasfalt* [online], 2012 [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: <http://www.gasfalt.cz/index.php/cz/>

- [12] Využití gumoasfaltového pojiva do ohrusných vrstev vozovek. In: KUDRNA, Jan a Ondřej DAŠEK. *Časopis stavebnictví* [online]. 2007 [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=277>
- [13] Vliv vegetace na podzákladí stabilizaci terénu. In: KUPILÍK Václav. *tzbinfol* [online]. 8. 8. 2011 [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/zaklady/7711-vliv-vegetace-na-podzakladi-a-stabilizaci-terenu>
- [14] Snižování dopravního hluku pomocí hutněných asfaltových vrstev. In: HÝZL, Petr a Vladimír ADAMEC. *Univerzita Komenského v Bratislave* [online]. 2012 [cit. 2013-12-26]. 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 Lärm mind. 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. 2013-12-26]. Dostupné z: <http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2004/Akusticke%20vlastnosti%20materialu-No.pdf>
- [24] *Stavební noviny, Protihlukové stěny FASETON – vysoce účinný systém* [online]. 25.10.2010 [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: <http://tvstav.cz/clanek/1039-protihlukove-steny-faseton-vysoce-ucinnny-system-2>

- [25] GOTTVALDOVÁ, Jana. Dopravní hluk. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 12.3.2012.
- [26] iMateriály, protihlukové stěny, [online], [cit.2013-12-26] Dostupné z: <http://imaterialy.dumabyt.cz/files/files/ZZZ201311/vchynice-01.jpg>
- [27] Českomoravský cement, Vymývaný beton pro D1 [online]. [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: <http://presskithc.cz/zpravy-pro-media/vymyvany-beton-pro-d1/>
- [28] Eurovia, Viaphone- Tenka obrusná vrstva s nízkou hlučností. [online]. [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: http://www.eurovia.cz/download/VIAPHONE_NEW.pdf
- [29] Radenberg, M., Sander, R, Lärmtechnischoptimist, In: časopis asphalt 8/2007. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/prehled-vlastnosti-pohltivych-protihlukovych-sten-na-ceskem-trhu_N3475
- [30] Nízkohlučné povrchy vozovek: Mojžíš Martin, VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace>

17 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ACB –asfaltocementový beton

ACL – asfaltový beton pro ložnou vrstvu

CB – cementobetonový kryt

CRmB – asfalt modifikovaný pryžovým granulátem

dB – decibel

Hz – hertz

ITS – pevnost v příčném tahu

ITSR – poměr pevnosti v příčném tahu

Lm – hladina hluku

LOA 5D - düsseldorfská asfaltová směs

PA – drenážní koberec

PRD – poměrná hloubka vyjeté koleje

SMA - asfaltový koberec mastixový

SMA LA – nízkohlučný asfaltový koberec mastixový

TP – technické podmínky

WTS – přírůstek hloubky vyjeté koleje

CPX – metoda na měření pohltivosti hluku asfaltové vrstvy