



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

NAVRHOVÁNÍ NÍZKOHLUČNÝCH ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

DESIGN OF LOW-NOISE ASPHALT MIXTURES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Řehulka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Dr. Ing. Michal Varaus

BRNO 2020



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

Student	Bc. Martin Řehulka
Název	Navrhování nízkohlučných asfaltových směsí
Vedoucí práce	doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

TP 259 Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností.

ČSN 73 6120 Ostatní asfaltové směsi.

Zkušební normy pro asfaltové směsi řady ČSN EN 12697.

Publikace: Technologie stavby vozovek – Jan Zajíček a kol.

Internetové zdroje.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

1. Teoretická část – Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností, teoretický rozbor.
2. Praktická část – Návrhy dvou základních typů asfaltových směsí se sníženou hlučností s návaznými vybranými funkčními zkouškami.
3. Závěry

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na nízkohlučné asfaltové směsi obecně, konkrétně pak asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy s nízkou hlučností (BBTM 8 NH) a asfaltový koberec mastixový s nízkou hlučností (SMA 8 NH). První polovina práce popisuje základní typy asfaltových směsí se sníženou hlučností, požadavky na vstupní materiály, hlukové emise a jejich metody měření. Druhá část se zabývá návrhem BBTM 8 NH a SMA 8 NH tak, aby měli stejnou mezerovitost. Následně byly zkoušeny jejich parametry. Akustická pohltivost, odolnost proti trvalým deformacím a tuhost. Zkušební metody jsou popsány a vyhodnoceny.

KLÍČOVÁ SLOVA

nízkohlučné povrchy vozovek, asfaltová směs, modifikovaný asfalt, hlukové emise, navrhování nízkohlučných asfaltových směsí, akustická pohltivost, odolnost proti trvalé deformaci, tuhost.

ABSTRACT

The Master's thesis is focused on low-noise asphalt mixtures in general, namely asphalt concrete for very thin layers with low noise (BBTM 8 NH) and stone mastic asphalt with low noise (SMA 8 NH). The first half of the thesis describes basic types of asphalt mixtures with low noise, requirements for raw materials (aggregates and asphalt), noise emissions and their measurement methods. The second part deals the design of BBTM 8 NH and SMA 8 NH so that they have the same voids. Subsequently, their parameters were tested. Acoustic absorption, resistance against permanent deformation and stiffness. Test methods are described and evaluated.

KEYWORDS

low-noise road surfaces, asphalt mixture, modified bitumen, noise emissions, design of low-noise asphalt mixtures, acoustic absorption, resistance against permanent deformation, stiffness.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Martin Řehulka *Navrhování nízkohlučných asfaltových směsí*. Brno, 2020. 79 s.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Navrhování nízkohlučných asfaltových směsí* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 2. 1. 2020

Bc. Martin Řehulka
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Navrhování nízkohlučných asfaltových směsí* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 2. 1. 2020

Bc. Martin Řehulka
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi za poskytnutí odborných rad, připomínky a vstřícný přístup. Dále bych chtěl poděkovat všem lidem v silniční laboratoři PKO za jejich rady a ochotu pomoci. A v neposlední řadě děkuji svým blízkým za podporu během celé délky studia.

Obsah

Úvod	10
1. Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností	12
1.1. Základní typy asfaltových směsí se sníženou hlučností	13
1.1.1. Asfaltový koberec mastixový se sníženou hlučností – SMA NH.....	13
1.1.2. Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy se sníženou hlučností – BBTM NH	15
1.1.3. Asfaltový koberec drenážní – PA	18
1.1.4. Asfaltový koberec otevřený – AKO.....	20
1.2. Požadavky na kamenivo.....	22
1.3. Požadavky na asfaltové pojivo	24
1.4. Přířady	25
1.5. Hlukové emise.....	25
1.5.1. Metody měření hluku od dopravy	28
1.5.1.1. Statistická metoda při průjezdu (Statistical Pass-By – SPB)...	28
1.5.1.2. Metoda malé vzdálenosti (Close proximity – CPX)	30
1.5.1.3. Controlled Pass-By (CPB)	31
1.5.1.4. Coast By (CB).....	32
1.5.1.5. On-Board Sound Intensity (OBSI).....	32
2. Navrhování nízkohlučných asfaltových směsí	33
2.1. Vstupní materiály.....	34
2.1.1. Kamenivo	34
2.1.1.1. ČSN EN 933-1 Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor (14)	34
2.1.1.2. ČSN EN 933-4 Stanovení tvaru zrn – Tvarový index (15).....	37
2.1.1.3. ČSN EN 1097-6 Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavost – Nasákavost (16).....	38
2.1.2. Asfaltové pojivo	38
2.1.2.1. ČSN EN 1426 Stanovení penetrace jehlou (18)	39
2.1.2.2. ČSN EN 1427 Stanovení bodu měknutí (19)	40
2.1.2.3. ČSN EN 13398 Stanovení vratné duktility (20)	41
2.2. Popis návrhu, výroby zkušebních těles (Marshallova tělesa) a jejich zkoušení – BBTM 8 NH	42
2.2.1. Popis návrhu směsi.....	42
2.2.2. ČSN EN 12697-35 Laboratorní výroba směsi (21) ČSN EN 12697-30 Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem (22).....	43

2.2.3. ČSN EN 12697-5 Stanovení maximální objemové hmotnosti – Metoda A (23)	46
2.2.4. ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa – Metoda B (24).....	48
2.2.5. ČSN EN 12697-8 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí (25).	48
2.3. Popis návrhu, výroby zkušebních těles (Marshallova tělesa) a jejich zkoušení – SMA 8 NH	49
2.3.1. Popis návrhu směsi	49
2.3.2. ČSN EN 12697-35 Laboratorní výroba směsi (21) ČSN EN 12697-30 Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem (22) 50	
2.3.3. ČSN EN 12697-5 Stanovení maximální objemové hmotnosti – Metoda A (23)	51
2.3.4. ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa – Metoda B (24).....	52
2.3.5. ČSN EN 12697-8 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí (25).	52
2.4. Výroba zkušebních desek a jejich zkoušení – BBTM 8 NH a SMA 8 NH....	53
2.4.1. ČSN EN 12697-33 Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek (26).....	54
2.4.2. Měření útlumu hluku pomocí akustické impedanční trubice (Kundtova trubice) (27).....	57
2.4.3. ČSN EN 12697-22 Zkouška poježdění kolem (28).....	60
2.4.4. ČSN EN 12697-26 Tuhost – 2PB-TR: dvoubodový ohyb na tělesech tvaru jednostranně vetknutého komolého klínu (29).....	65
3. Závěr	70
4. Seznam použitých zdrojů	73
5. Seznam tabulek.....	76
6. Seznam grafů	77
7. Seznam obrázků.....	78

Úvod

Rozvoj dopravy a dopravní infrastruktury v rámci Evropské unie představuje jedno z klíčových témat řešených v souvislosti s problematikou hluku. Hluk v silniční infrastruktuře má řadu zdrojů, například styk pneumatiky s povrchem obrusné vrstvy vozovky projíždějících vozidel rychlostí nejméně 40 km/h. Do rychlosti 40 km/h spíše převládá zdroj hluku od motoru nastartovaného vozidla. Proti hluku od dopravy lze využít řadu opatření, mezi běžné opatření patří protihlukové stěny, snižování maximální povolené rychlosti či využití akustických výplní budov. V České republice (dále jen ČR) je snížení dopravního hluku hlavní prioritou pro obytné oblasti v blízkosti pozemních komunikací. Díky rozvíjejícím se technologiím aplikace obrusných vrstev se sníženou hlučností, lze dosáhnout snížení hladiny hluku o 3 až 8 dB(A), přičemž snížení dopravního hluku o 3 dB(A) odpovídá 50% snížení intenzity dopravy. Tyto technologie mají svá specifika, přednosti a podmínky. (1)

Opatření protihlukových stěn je na jedné straně finančně náročné a na straně druhé problematické umístění s ohledem komunikace na okolní zástavbu (většinou v intravilánu). Proto se jeví jako jednodušší navrhovat obrusné vrstvy, které zajistí snížení hladiny hluku. Při návrhu těchto směsí se musí brát ohled na to, kde se komunikace nachází. V extravilánu lze aplikovat v zásadě všechny typy obrusných vrstev se sníženou hlučností, naopak v intravilánu již do návrhu vstupují okrajové podmínky dané komunikace (např. omezená možnost pokládky). Dříve používané asfaltové koberce drenážní se nyní nahrazují různými typy koberců s vyšší mezerovitostí, které sice nedosahují tak vysokého útlumu hluku jako koberce drenážní, ale jsou však méně náročné z hlediska provádění a následné údržby.

Asfaltové směsi se sníženou hlučností účinně a trvale snižují emise hluku od dopravy. Zároveň oproti koberci drenážnímu jsou méně náchylné k zanesení. Svými vlastnostmi jsou vhodnou volbou pro výstavbu městských a příměstských komunikací, údržbu městských ulic, průtahů, kruhových křižovatek, atd. (2)

Hlavní úkoly a cíl diplomové práce

Přehled a popis asfaltových směsí pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností

Navrhnout 2 typy asfaltových směsí se sníženou hlučností dle TP 259 tak, aby jejich mezerovitost byla stejná. Díky stejné mezerovitosti jsem dále srovnával jejich parametry. První směs je asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy BBTM 8 NH a druhá směs asfaltový koberec mastixový SMA 8 NH. Z navržených směsí byla vyrobena zkušební tělesa, na kterých byly provedeny vybrané funkční zkoušky. Jednalo se o měření útlumu hluku (akustické pohltivosti), zkoušku pojíždění kolem (odolnost proti trvalým deformacím) a tuhost

1. Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností

„Asfaltová vrstva vzniká zhutněním čerstvě vyrobené horké asfaltové směsi, která se skládá ze směsi kameniva a asfaltového pojiva. Zhutněním horké směsi vzniká třífázový systém, ve kterém kamenivo vytváří vzájemně zaklíněnou kostru a pojivo na povrchu zrn kameniva spojuje jednotlivá zrna kostry dohromady. Důležitou roli zde hrají částice kameniva cca do 2 mm, které po obalení asfaltem vytvoří asfaltovou maltu tužší než samotný asfalt (tzv. mastix), která se významně podílí na fixaci hrubé kamenné kostry. Třetí fází v tomto systému tvoří vzduchové mezery, které jsou nezbytné k tomu, aby asfaltová směs správně fungovala. Příliš nízký obsah vzduchových mezer (cca pod 2 % celkového objemu směsi) může způsobit, že asfaltové pojivo, které má cca 20x větší teplotní roztažnost než kamenivo, vyplní v letních měsících, kdy povrch asfaltových vozovek dosahuje i více než 60 °C, většinu vzduchových mezer. Po vyplnění mezer začne pojivo odtlačovat jednotlivá zrna zaklíněné kostry kameniva od sebe, čímž kamenná kostra ztratí svoji přirozenou smykovou pevnost a pod účinkem zatížení dochází k tvorbě trvalých deformací. Naopak příliš vysoký obsah mezer u obrusné vrstvy (cca nad 5 %) způsobuje, že asfaltová vrstva začne propouštět vodu a dochází k postupnému narušení spojení mezi asfaltovým pojivem a kamenivem. To je nežádoucí s ohledem na zachování trvanlivosti celé konstrukce vozovky. ” (3)

TP 259 navazují na evropské normy řady ČSN EN 13108, ČSN 73 6121, TKP 7 a předběžné TP 148. Asfaltové směsi vymezené TP 259 musí z hlediska kvalitativních požadavků splňovat obecné zásady výroby a pokládky, které TP 259 neupravují, ale jsou specifikované v některém z výše uvedených TP či v technické normě. TP 259 se zavádějí na přechodné období a to do doby než dojde k plnému začlenění asfaltových směsí pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností do soustavy norem ČSN. (1)

Na kvalitu a fungování asfaltových směsí se podílí více faktorů, nejen mezerovitost a zrnitost směsi kameniva, ale také obsah asfaltu, druh asfaltu a přilnavost asfaltu ke kamenivu. (3)

1.1. Základní typy asfaltových směsí se sníženou hlučností

- asfaltový koberec mastixový – SMA NH
- asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy – BBTM NH (VIAPHONE)
- asfaltový koberec drenážní – PA
- asfaltový koberec otevřený – AKO

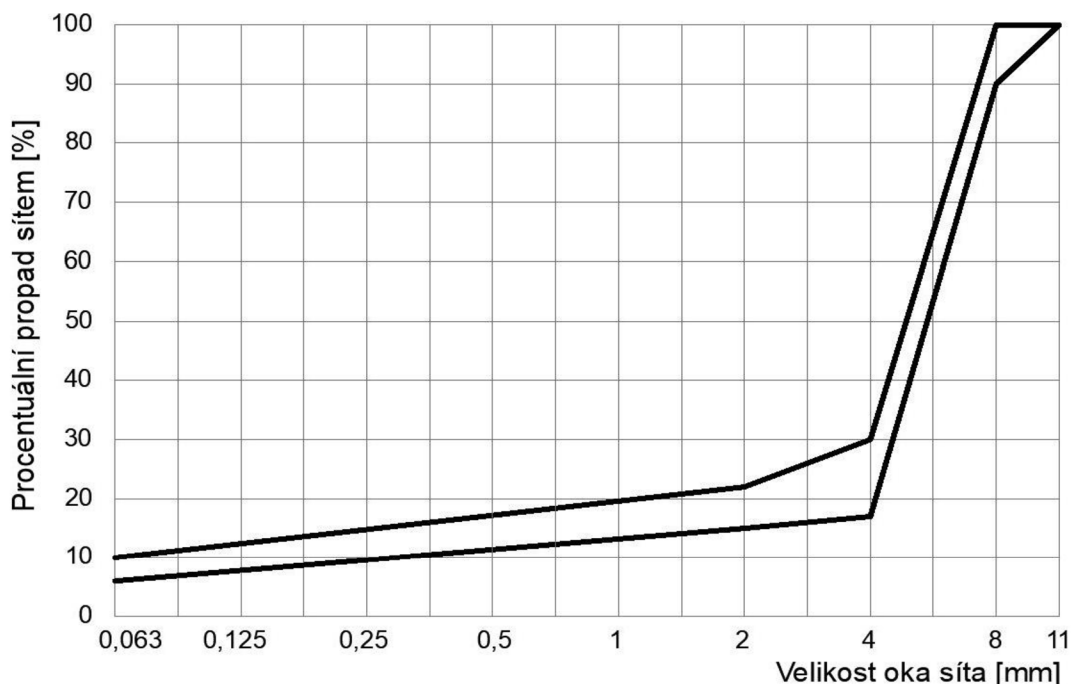
1.1.1. Asfaltový koberec mastixový se sníženou hlučností – SMA NH

„Asfaltový koberec mastixový je určen pro obrusné vrstvy vysoce zatížených silničních a dálničních vozovek a křižovatek. Čára zrnitosti není plynulá, nosnou kostru směsi tvoří zejména nejhrubší frakce kameniva, kamenivo cca pod velikost 2 mm je výplňové a společně s asfaltovým pojivem a kamennou moučkou vytváří asfaltovou maltu – mastix, která vzájemně tmelí zrna nosné kostry.

Tato směs byla vyvinuta v 70. letech v Německu pro vozovky, kde se používaly pneumatiky s hřebíky. Protože kostra celé směsi je postavena na vzájemném dotyku velkých zrn, je zapotřebí, aby bylo použito pro nejhrubší frakci vysoce kvalitní kamenivo (zejména s nízkou otlukovostí a dobrým tvarovým indexem).” (3)

Obsah asfaltu je cca 6 až 8 % a v ČR se výhradně na výrobu používají modifikované asfalty. Proti stékání asfaltového pojiva se používají stabilizační přísady např. celulózová nebo akrylátová vlákna. Dávkování těchto vláken se zkouší zkouškou stékavosti. Požadovaná mezerovitost je 9 až 12 %. Mezi základní charakteristiky mastixových koberců patří vysoká odolnost proti tvorbě trvalých deformací a proti tvorbě mrazových trhlin, příznivá makrotextura a s ní související útlum hluku z dopravy, dobrá přilnavost k podkladu, pomalý proces stárnutí, bezproblémové provádění běžné a zimní údržby. Výhodou je odpadající nutnost provádění těsnící SAMI membrány. Tato asfaltová směs se provádí v tloušťce 15 až 40 mm. (1) (4)

V následujícím grafu můžeme vidět příklad oboru zrnitosti kameniva pro asfaltový koberec mastixový – SMA 8 NH.



Graf 1: Obor zrnitosti kameniva pro směs SMA 8 NH (30)

„Označení asfaltového koberce mastixového podle nejhrubší použité frakce kameniva

SMA D – Číslo *D* představuje velikost oka horního síta nejhrubší použité frakce kameniva (tzv. nominálního síta) pro daný druh asfaltové směsi.

V ČR se používají směsi s maximální velikostí zrna $D = 8 \text{ mm}$, 11 mm .

Označení asfaltového koberce mastixového podle kvalitativních požadavků

Symbol pro rozlišení je doplněn za označením *D* nominálního síta.

S směsi pro vysoké intenzity dopravního zatížení (dopravní zatížení S – II).

Další rozlišení se neprovádí, směsi se odlišují pouze druhem použitého pojiva.

V technické dokumentaci se doplňuje označení druhem použitého pojiva, uvedením tloušťky vrstvy v milimetrech a citací odpovídající normy.

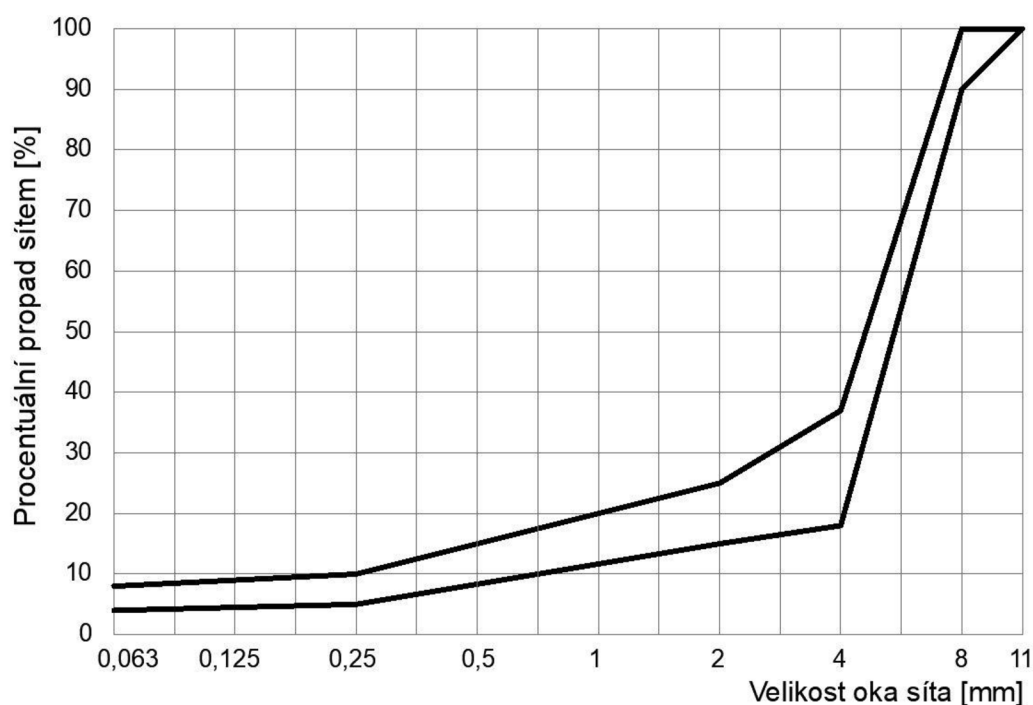
Příklad:

SMA 8 S PMB 45/80-60; 30 mm; ČSN EN 13108-5 – Označení vrstvy v technické dokumentaci.” (3)

1.1.2. Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy se sníženou hlučností – BBTM NH

„Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy je určen pro stavbu obrusných vrstev silničních a dálničních vozovek, letištních a jiných zpevněných ploch. Asfaltové betony pro velmi tenké vrstvy mají většinou skeletovou kostru, což znamená, že mají přerušenu čáru zrnitosti kameniva. Částice kameniva jsou odstupňovány tak, aby umožňovaly vytvoření otevřené povrchové struktury, přičemž se používá kamenivo s maximální velikostí zrn do 5 mm, 8 mm nebo 11 mm. Jako asfaltová pojiva se většinou používají silniční asfalty, polymerem modifikované asfalty nebo speciální modifikované asfalty (např. asfalty modifikované pryžovým granulátem).” (3)

V následujícím grafu můžeme vidět příklad oboru zrnitosti kameniva pro beton velmi tenké vrstvy – BBTM 8 NH.



Graf 2: Obor zrnitosti kameniva pro směs BBTM 8 NH (30)

„Označení asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy podle nejhrubší použité frakce kameniva

BBTM D – Číslo *D* představuje velikost oka horního síta nejhrubší použité frakce kameniva (tzv. nominálního síta) pro daný druh asfaltové směsi.

V ČR se používají směsi s maximální velikostí zrna $D = 4 \text{ mm}, 5 \text{ mm}, 8 \text{ mm}, 11 \text{ mm}$.

Označení asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy podle čáry zrnitosti

Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy se podle své čáry zrnitosti rozděluje na:

- směsi s označením *A* – směs s vyšším obsahem drobného kameniva a jemných částic;
- směsi s označením *B* – směs s nižším obsahem drobného kameniva a jemných částic;
- směsi s označením *C* – směs s vyšším obsahem drobného kameniva a nejvyšším obsahem jemných částic.

V technické dokumentaci se doplňuje označení druhem použitého pojiva, uvedením tloušťky vrstvy v milimetrech a citací odpovídající normy.

Příklad:

BBTM 8 B 50/70; 25 mm; ČSN EN 13108-2 – Označení vrstvy v technické dokumentaci.” (3)

Jednu takovou směs má společnost Eurovia. Jmenuje se VIAPHONE. VIAPHONE je asfaltová směs s nízkou hlučností, která splňuje trvalé snížení valivého hluku, dobré drenážní vlastnosti a vynikající protismykové vlastnosti. Zároveň je, oproti drenážnímu koberci, méně náchylný k zanesení. Je jedním z výrobků vyvinutých firmou Eurovia. Svými vlastnostmi je vhodnou volbou pro výstavbu městských a příměstských komunikací a údržbu městských ulic, průtahů, kruhových křižovatek, příměstských a příjezdových komunikací, atd. (2)



Obrázek 1: Pokládka směsi VIAPHONE, Praha, ul. 5. května (5)

Pokládá se v tloušťce 20 až 30 mm. Tato směs má zrnitost 0/6 nebo 0/8 mm, s přetržitou křivkou zrnitosti v oblasti 2 až 4 (5) mm a vysokým obsahem hrubého kameniva frakce 4/6 nebo 4/8 (5/8). Obecně se jako pojivo používá silniční asfalt s přidavkem organických vláken. V závislosti na velikosti dopravního zatížení lze vybrat také některý polymery modifikovaný asfalt vyvinutý a vyráběný ve společnosti Eurovia. Relativně vysoký obsah pojiva zlepšuje zpracovatelnost směsi a usnadňuje pokládku. Pokud je podklad příliš nerovný, nejprve se musí provést jeho vyrovnání.

Vysoký stupeň bezpečnosti je doložen vysokou makrotexturou a výborným koeficientem podélného tření při všech měřících rychlostech. (2)

Přesná receptura směsi je know-how společnosti Eurovia

1.1.3. Asfaltový koberec drenážní – PA

„Asfaltový koberec drenážní je asfaltová směs určená pro obrusné vrstvy silničních a dálničních vozovek. Dále se též v ČR často používá jako podklad pro sportovní hřiště, kdy se na vrstvu z asfaltového koberce drenážního pokládá umělý povrch (hmota dobře zateče do struktury asfaltové směsi). Jedná se o asfaltovou směs s vysokou mezerovitostí, vyšší jak 16 %. Čára zrnitosti není plynulá, nosnou kostru tvoří kamenivo hrubší frakce cca 70 % a více. Z tohoto důvodu jsou kladeny vysoké požadavky na otlukovost, ohladitelnost a tvarový index kameniva.

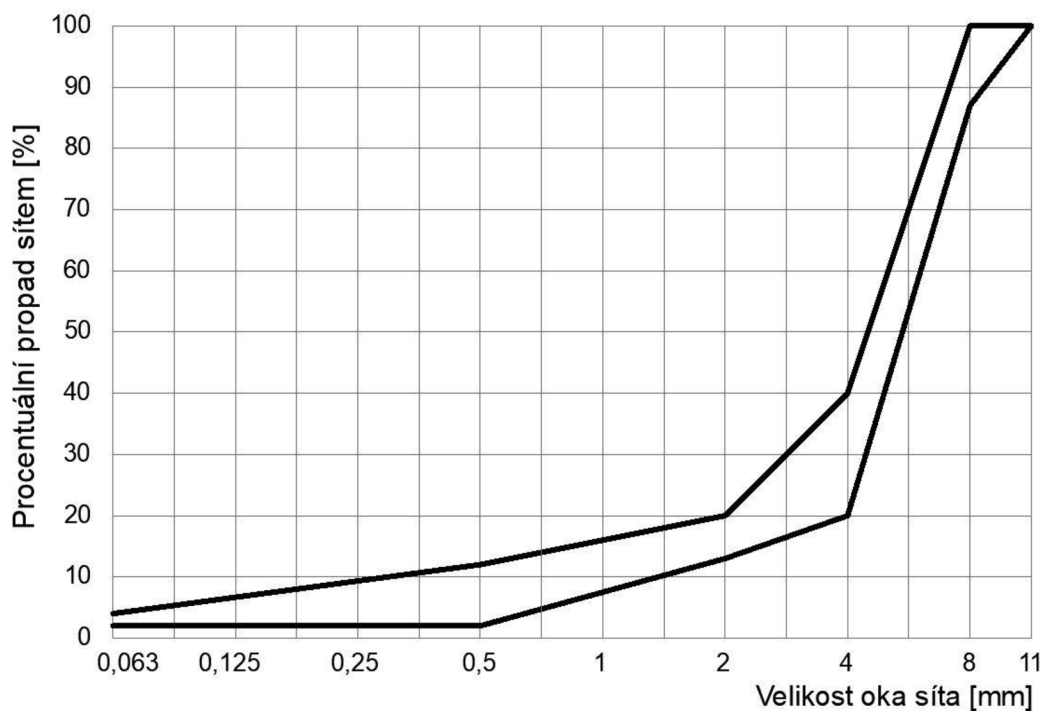
Jako asfaltové pojivo se používá výjimečně silniční asfalt, polymerem modifikovaný asfalt nebo asfalt modifikovaný drcenou pryží. V případě použití silničního asfaltu a polymerem modifikovaného asfaltu se používají k zabránění stékání pojiva stabilizační (např. celulózová) vlákna. Při návrhu směsi se požadovaná mezerovitost pohybuje v rozmezí 16 až 30 %. Pro zajištění dobrého drenážního účinku se např. v německých předpisech požaduje mezerovitost vyšší než 23 %.” (3)

Použití této směsi je v zahraničí nejvíce rozsáhlé v Holandsku, kde 80 % povrchu všech dálničních vozovek patří právě asfaltovému koberci drenážnímu. Větší drenážní účinek se dosahuje při dvojvrstvě provedení této úpravy, přičemž do ložní vrstvy se používá drenážní koberec s větším maximálním zrnem (např. 16 mm). (3)

Mezi základní charakteristiky asfaltových koberců drenážních patří odvedení srážkové vody vlastní směsí, která po nepropustném podkladě stéká na okraj vozovky – zlepšení protismykových vlastností, snížení rizika aquaplaningu, snižování hlučnosti jízdy vozidel – snížení o 3 až 5 dB(A), kladení na vodou nepropustný podklad – SAMI vrstva, hutnění se provádí pouze statickými válci bez vibrace, aby nedošlo k rozdrčení kostry, s ohledem na kontakt zrn kostry kameniva na velmi malých plochách dochází po čase, kdy pojivo zestárne a je křehké, k vytrhávání zrn. Pro řádné fungování koberce drenážního je zapotřebí udržovat povrch čistý, aby se nezanesl nečistotami, udržovat krajnice tak, ať jejich výška nepřesahuje povrch ložní vrstvy pro odtok

vody, při odstraňování sněhu používat radlice s gumovými břity, po zimním období vyčistit vrstvu tlakovou vodou. (3)

V následujícím grafu můžeme vidět příklad oboru zrnitosti kameniva pro asfaltový koberec drenážní – PA 8.



Graf 3: Obor zrnitosti kameniva pro směs PA 8 (30)

„Označení asfaltového koberce drenážního podle nejhrubší použité frakce kameniva

PA D – Číslo D představuje velikost oka horního síta nejhrubší použité frakce kameniva (tzv. nominálního síta) pro daný druh asfaltové směsi.

V ČR se používají směsi s maximální velikostí zrna $D = 8 \text{ mm}$, 11 mm , 16 mm . Další rozlišení směsí se neprovádí.

V technické dokumentaci se doplňuje označení druhem použitého pojiva, uvedením tloušťky vrstvy v milimetrech a citací odpovídající normy.

Příklad:

PA 8 50/70; 35 mm; ČSN EN 13108-7 – Označení vrstvy v technické dokumentaci.” (3)

Asfaltový koberec drenážní či obdobné asfaltové směsi , které vykazují mezerovitost vyšší než 15 % , ve smyslu TP 259 se nepovažují za směsi se sníženou hlučností. Plyne to z toho, že asfaltová směs typu PA se v ČR nebude využívat pro obrusnou vrstvu pozemních komunikací. (1)



Obrázek 2: Detail drenážního koberce v řádném stavu (vlevo) a detail zaneseného drenážního koberce (vpravo) (6)

1.1.4. Asfaltový koberec otevřený – AKO

„Asfaltový koberec otevřený je asfaltová směs, jejíž požadavky nejsou specifikovány v rámci evropských norem. Jedná se o směs určenou pro obrusné, ložní i podkladní vrstvy s přerušovanou čarou zrnitosti. Směs je koncipována tak, aby mohla být použita díky své vyšší mezerovitosti (12 až 26 %) jako směs, kterou lze překrýt vrstvu např. s vypoceným pojivem na povrchu, kdy nadměrný obsah pojiva je absorbován otevřenou strukturou AKO, nebo se používá stejně jako asfaltový koberec drenážní pro podklady pod hřiště s umělým povrchem, tak aby došlo k zatečení umělé hmoty do povrchových mezer.“ (3)

„Označení asfaltového koberce otevřeného podle nejhrubší použité frakce kameniva

AKO D – Číslo D představuje velikost oka horního síta nejhrubší použité frakce kameniva (tzv. nominálního síta) pro daný druh asfaltové směsi.

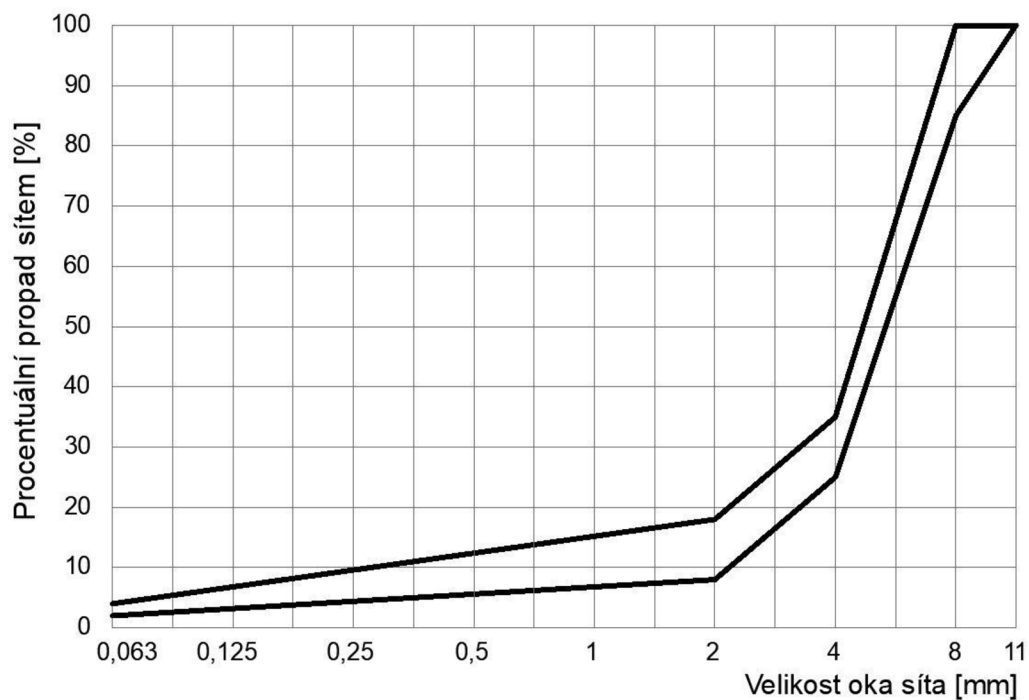
V ČR se používají směsi s maximální velikostí zrna $D = 8 \text{ mm}$, 11 mm , 16 mm . Další rozlišení směsí se neprovádí, směsi se odlišují pouze druhem použitého pojiva. Stanovení teoretického množství pojiva se provádí výpočtem.

V technické dokumentaci se doplňuje označení druhem použitého pojiva, uvedením tloušťky vrstvy v milimetrech a citací odpovídající normy.

Příklad:

AKO 11 50/70; 40 mm; ČSN 73 6121 – Označení vrstvy v technické dokumentaci.” (3)

V následujícím grafu můžeme vidět příklad oboru zrnitosti kameniva pro asfaltový koberec otevřený – AKO 8.



Graf 4: Obor zrnitosti kameniva pro směs AKO 8 (30)

1.2. Požadavky na kamenivo

Jako kamenivo pro výrobu asfaltových směsí se používá vždy drcené kamenivo, těžené kamenivo není přípustné. Přílohy normy ČSN 73 6121, kde jsou obsaženy původní požadavky národních příloh norem ČSN EN 13108-1, -2, -5, -7 a TP 148 stanovují požadavky na kamenivo v závislosti na zvoleném typu asfaltové směsi. Pro doplnění zrnitosti kamenné směsi se používá mletého vápence nebo dolomitu podle ČSN EN 13043. Podle umístění v konstrukci a dopravního zatížení jsou platné požadavky na kamenivo přiměřeně odvozeny z ČSN 73 6121, kde jsou uvedeny i požadavky pro zdrsňující posypy. (1) (7)

Základní požadavky na ohladitelnost hrubého kameniva PSV do asfaltových směsí jsou uvedeny opět v přílohách normy ČSN 73 6121, kam byly převedeny národní přílohy ČSN EN 13108 (-1, -2, -5, -7). Pro asfaltové vrstvy se zvýšenými požadavky na protismykové vlastnosti obrusné vrstvy tj. pro úseky třídy dopravního zatížení III a vyšší v závislosti na směrovém a výškovém vedení a umístění úseku v trase, nesmí deklarovaná hodnota PSV do směsi hrubého kameniva nebo pro zdrsňující posyp klesnout pod 53, ale např. kde jsou nehodové úseky se požaduje hodnota PSV 56 (pokud není stanoveno jinak v zadávací dokumentaci). (1) (7)

Následující tabulka nám ukazuje požadavky na kamenivo a přídatný filer pro asfaltové směsi obrusných vrstev se sníženou hlučností typu SMA NH a BBTM NH.

Tabulka 1: Požadavky na kamenivo a přídavný filer pro asfaltové směsi obrusných vrstev se sníženou hlučností typu SMA NH a BBTM NH (1)

Požadavky na drobné kamenivo a směs kameniva		
Zrnitost DK ($D \leq 2$) G_F		G_F 85
Zrnitost SK ($D \leq 5$ a $d=0$) G_A		G_A 85
Tolerance zrnitosti DK a SK ($D \leq 8$) G_{TC}		G_{TC} 10
Obsah jemných částic f	drcené	f_{10}
Kvalita jemných částic MB_F ¹⁾		MB_F 10
Požadavky na hrubé kamenivo		
Zrnitost HK ($d \geq 1$ a $D \geq 4$) G_C		G_C 85/15
Tolerance zrnitosti G pro D/d	< 4	$G_{20/15}$
	≥ 4	$G_{20/17,5}$
Obsah jemných částic f		f_2
Tvarový index SI	$d \geq 4$	SI_{30}
Odolnost proti drcení LA		LA_{25}
Ohladitelnost PSV		PSV_{50}
Nasákavost WA_{24} ²⁾		WA_{24} 2 ³⁾
Odolnost proti zmrazování a rozmrazování F		F_2
Odolnost proti rozpadavosti čediče SB		$SB_{LA} \leq 8$
Požadavky na přídavný filer - vápencový, dolomitický		
Zrnitost		propady dle tabulky 24 ČSN EN 13043:2016
Obsah vody WC		WC_1
Obsah uhlíčanů CC_1		CC_1 70
Měrná hmotnost ρ_f		hodnoty se deklarují ⁴⁾
1)	Zkouška provedena dle metody uvedené v podle 4.1.5 čsn en 13043:2004	
2)	Pokud nasákavost kameniva podle kapitol 7 a 8 ČSN EN 1097-6:2014 je menší než 1 % hmotnosti lze je považovat za mrazuvzdorné a není nutné stanovovat odolnost proti zmrazování a rozmrazování. V opačném případě se provede zkouška odolnosti proti zmrazování a rozmrazování podle ČSN EN 1367-1.	
3)	Pro třídu dopravního zatížení S až II se považuje WA_{24} 1.	
4)	Rozsah hodnot deklarovaných výrobcem má být v intervalu 0,200 Mg/m ³	

1.3. Požadavky na asfaltové pojivo

Pro výrobu asfaltových směsí lze použít všechny druhy asfaltů, které jsou opět uvedeny v přílohách normy ČSN 73 6121, kam byly převedeny národní přílohy ČSN EN 13108 (-1, -2, -5, -7).

Pro výrobu asfaltových směsí pro akustické obrusné vrstvy vozovek se používají polymerem modifikované asfalty dle ČSN EN 14023, nízkoviskózní asfaltová polymerem modifikovaná pojiva, která obsahují některou z chemických přísad nebo vosků a splňují požadavky uvedené v příloze C TP 238, asfaltová pojiva modifikovaná pryží dle předběžných TP 148 nebo dle specifikací výrobce, který vlastnosti takového pojiva prokáže Stavebně-technickým osvědčením. TP 259 se zaměřují na podrobnou specifikaci pouze směsí typu SMA NH a BBTM NH. V bezpečnostním listu výrobce asfaltových pojiv musí být stanoveny maximální přípustné teploty pojiva pro přepravu a skladování v zásobnících. (1) (7)

Následující tabulka nám ukazuje doporučené druhy asfaltových pojiv podle třídy dopravního zatížení a použitých směsí včetně přípustné tloušťky vrstev.

Tabulka 2: Doporučené druhy asfaltových pojiv podle třídy dopravního zatížení a použitých směsí včetně přípustné tloušťky vrstev (1)

Označení směsí	Tloušťka vrstvy (mm)	Třída dopravního zatížení dle TP 170					
		S	I	II	III	IV	V
Varianty použitých asfaltových pojiv 1)							
SMA 5 NH SMA 8 NH	15-35 25-40	PMB 45/80-60; PMB 45/80-65; PMB 25/55-60; PMB 40/100-65; CRMB 25/55-60 2)					
BBTM 5 NH BBTM 8 NH	15-35 25-40						
1)	Pro třídy dopravního zatížení S a I je doporučeno upřednostnit pro v této tabulce uvedené typy asfaltových směsí polymerem modifikované asfaltové pojivo s vyšším obsahem polymeru, tedy PMB 40/100-65. V případě asfaltových směsí navrhovaných dle těchto technických podmínek je přípustné použít pouze takové						
2)	pojivo CRMB, jehož obsah drcené či mleté pryže nepřesáhne 15 %-hm. včetně. Asfaltové směsi s vyšším obsahem drcené či mleté pryže v pojivu CRMB lze navrhovat pouze v souladu s předběžnými TP 148. Takové směsi se pak řídí výhradně požadavky, které stanoví předběžné TP 148 (včetně tloušťky vrstvy a možného použití na pozemních komunikacích s ohledem k třídě dopravního zatížení).						

1.4. Přísady

Pro omezení rizika stékavosti asfaltového pojiva je nezbytné, zejména v případě asfaltových směsí typu SMA NH, aplikovat vhodné přísady typu minerálních či celulózových vláken. Dále se připouští použití přísad pro snižování pracovních teplot do jakékoliv asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností, a to v souladu s požadavky TP 238. (1)



Obrázek 3: Zkouška stékavosti pojiva (8)

1.5. Hlukové emise

Dopravní hluk je velice široký pojem, a do tohoto hluku můžeme zařadit automobilový, kolejový a hluk z leteckého provozu. Z pohledu pozemních komunikací nás nejvíce zajímá právě automobilový hluk. Ten se dá rozdělit na vnitřní a vnější hluk. Vnitřní hluk se vyskytuje a obtěžuje osoby uvnitř vozidla a je jedním z ukazatelů komfortu vozidla. Vnější hluk se vyskytuje podél pozemních komunikací a nejvíce obtěžuje obyvatele dané lokality. To mohou být domy v městské zástavbě, sídliště v příměstských oblastech, apod.

V následujících dvou tabulkách můžeme vidět základní limity pro vnitřní (uvnitř obytných místností) a venkovní hluk.

Tabulka 3: Základní limity pro vnitřní hluk (uvnitř obytných místností) (9)

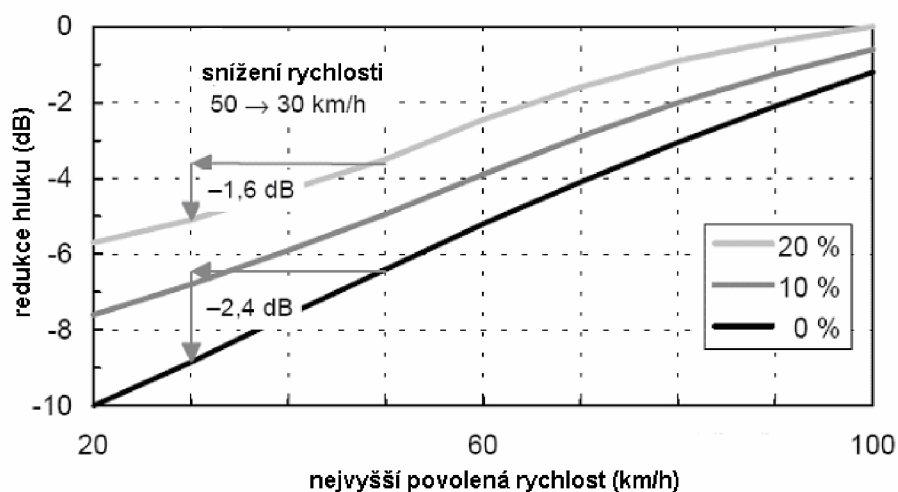
Vnitřní hluk	den (6:00-22:00)	noc (22:00-6:00)
základní limit	40 dB	30 dB
pro hluk ze silniční dopravy	45 dB	35 dB
pro hluk z hudby, zpěvu a řeči	35 dB	25 dB

Tabulka 4: Základní limity pro venkovní hluk (9)

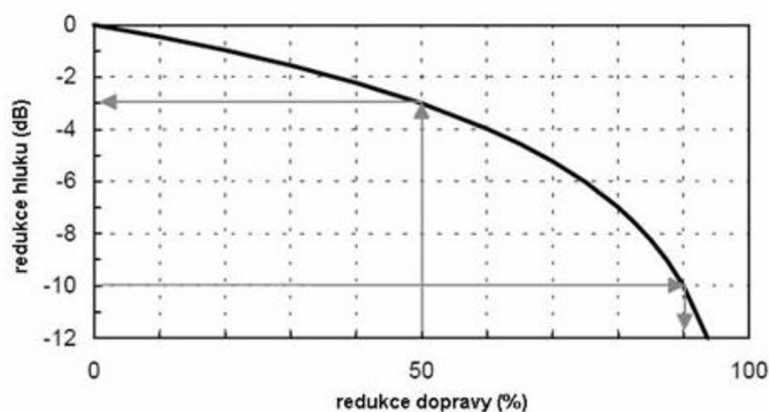
Venkovní hluk	den (6:00-22:00)	noc (22:00-6:00)
základní limit - pro hluk jiný, než z dopravy	50 dB	40 dB
pro hluk ze silniční dopravy	55 dB	45 dB
pro hluk z železniční dopravy	55 dB	50 dB
pro hluk z hlavních silnic	60 dB	50 dB
pro hluk v ochranných pásmech drah	60 dB	55 dB
pro starou hlukovou zátěž	70 dB	60 dB
pro starou hlukovou zátěž u železničních drah	70 dB	65 dB

Dynamicky se vyvíjející parametr povrchových vlastností vozovky jsou hlukové emise. Když bylo zjištěno, že největší hluk vzniká na kontaktu vozovka/pneumatika, byl tento parametr zařazen mezi povrchové vlastnosti. Hlukové emise se měří již delší dobu a nákladní automobily byly považovány za největšího původce hluku. Nejdříve se věnovala pozornost snižování hluku pohonných jednotek a aerodynamických účinků karoserie na nově vyráběných nákladních i osobních automobilech. Snižování hladiny hluku to sice přineslo, ale na požadované hlukové hygienické limity v blízkosti pozemních komunikací, hlavně ve městech a obcích, to nestačilo. V intravilánu se přistoupilo ke snižování rychlosti jízdy a snižování intenzity dopravy. Snižování intenzity dopravy zvláště těžkých vozidel, je velmi účinné. Mezi stavebně technická opatření patří protihlukové stěny (velmi finančně náročné), nízkohlučné povrchy vozovek pozemních komunikací, výstavba zeleně mezi komunikací a zástavbou a protihluková okna v přilehlé zástavbě. (3)

V následujících grafech můžeme vidět vliv rychlosti na hluk ze silniční dopravy v závislosti na podílu nákladních vozidel a redukcí hluku snížením intenzity dopravy.



Graf 5: Vliv rychlosti na hluk ze silniční dopravy v závislosti na podílu nákladních vozidel (10)



Graf 6: Redukce hluku snížením intenzity dopravy (10)

Na měření hluku od dopravy je spousta metod, každá metoda je víceméně účinná, ale zároveň žádná není natolik univerzální, aby se dala použít za každé situace. Jednotlivé postupy měření jsou podrobně popsány v příslušných normách a technických předpisech. V ČR se nejvíce používá statistická metoda při průjezdu (SPB) a metoda malé vzdálenosti (CPX). V zahraničí se ještě navíc používají metody Coast By (CB), Controlled Pass-By (CPB) a On-Board Sound Intensity (OBSI). Díky metodě malé vzdálenosti (CPX) se prokázalo, že významný zdroj hluku je kontakt mezi pneumatikou a vozovkou. To vedlo k vývoji nových typů pneumatik a nových druhů obrusných vrstev. (3) (11)

1.5.1. Metody měření hluku od dopravy

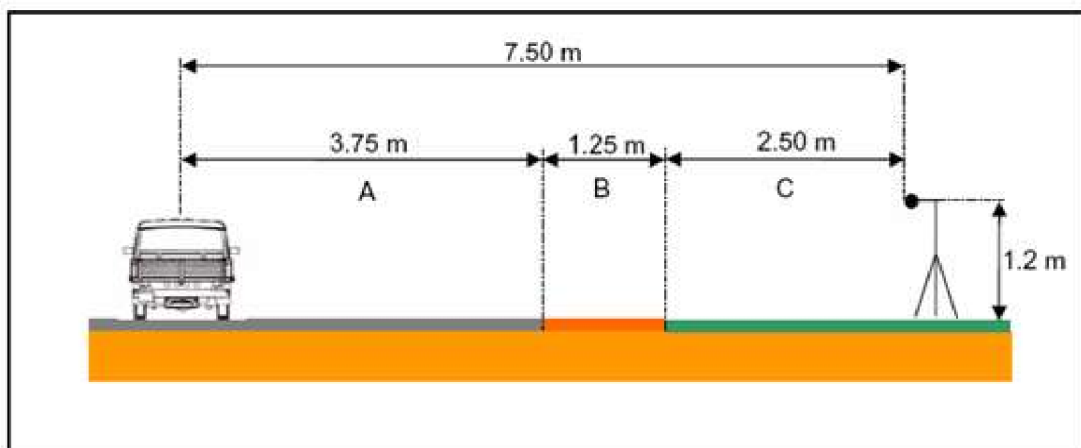
- Statistická metoda při průjezdu (Statistical Pass-By – SPB)
- Metoda malé vzdálenosti (Close proximity – CPX)
- Controlled Pass-By (CPB)
- Coast By (CB)
- On-Board Sound Intensity (OBSI)

1.5.1.1. Statistická metoda při průjezdu (Statistical Pass-By – SPB)

Je to statistická metoda při průjezdu vozidla, která se měří mikrofonom umístěným vně komunikace. Mikrofon je umístěn volně nebo na odrazové desce, která zabraňuje vlivu hluku z okolí. Všechna vozidla v dopravním proudu míjí tento mikrofon a zároveň se radarem zaznamenává rychlost a druh vozidel, přičemž musí být dosaženo alespoň 100 validních měření pro osobní vozidla a 80 validních měření pro nákladní vozidla. U osobních vozidel se uvažuje rychlost jízdy 50, 80 a 110 km•h⁻¹, u těžkých vozidel se uvažuje rychlost jízdy 50, 70 a 85 km•h⁻¹. V normě se podle rychlosti rozeznávají tři kategorie vozovek pozemních komunikací. První kategorie je v rozmezí 45 až 64 km•h⁻¹ (nízká), druhá kategorie je v rozmezí 65 až 99 km•h⁻¹ (střední) a třetí kategorie je v rozmezí 100 a více km•h⁻¹ (vysoká). Konečným výstupem je hodnota statistického indexu při průjezdu (*SPBI*), která určuje dopravní hluk pro danou skladbu a rychlost vozidel. (3) (12)

Tato zkouška je velmi náročná na měřicí místo. Podmínkou je volné akustické pole v okruhu 25 m kolem mikrofону, okolní hodnoty hluku by měly být menší o cca 10 dB než hluk od měřené dopravy. Zároveň je ale poměrně přesná při dodržení velmi omezujícího vybírání průjezdů automobilů z dopravního proudu. Veškeré podrobnosti mezinárodních standardů metody SPB jsou specifikovány v normě ISO 11819-1 či v doplňkové normě ISO/TS 11819-4. (12)

Na obrázku 4 můžeme vidět evropské standardy pro umístění mikrofonů. Horizontálně je mikrofon umístěn 7,5 m od osy jízdního pruhu a vertikálně je umístěn 1,2 m nad povrchem vozovky.



Obrázek 4: Umístění mikrofonu při statistické metodě při průjezdu (SPB) (12)



Obrázek 5: Reálná ukázka umístění mikrofonu při statistické metodě při průjezdu (SPB) (12)

1.5.1.2. Metoda malé vzdálenosti (Close proximity – CPX)

Jak už název metody napovídá, jedná se měření pomocí metody na krátkou vzdálenost tzv. „měření u zdroje hluku“. Zdrojem hluku je pneumatika na kontaktu s vozovkou. Referenční pneumatika je namontovaná na přívěsu taženém za automobilem (na nehnané a neovládané nápravě) a mikrofony jsou v těsné blízkosti této pneumatiky, které snímají ekvivalentní hladinu akustického tlaku styku pneumatika/vozovka daného úseku. Snímaná ekvivalentní hladina akustického tlaku je korigována na jednu z referenčních rychlostí 40, 50, 80 nebo 100 km•h⁻¹. Používá se sestava dvou nebo pěti mikrofonů. Každý posuzovaný úsek musí mít délku nejméně 100 m. (3) (12)



Obrázek 6: Umístění mikrofonů kolem referenční pneumatiky (12)

„Tato metoda je především určena pro porovnání hlučnosti různých typů povrchů vozovek, k ověření účinnosti nízkohlučných obrusných vrstev a k monitorování změn hlučnosti v průběhu životnosti povrchu vozovky.“ (3)

Jedná se o nejpřesnější zkušební metodu pro měření hlukových emisí na styku pneumatiky s vozovkou. Výhodou je, ve velké míře, odstranění okolních vlivů a použití při běžném provozu na pozemních komunikacích, na mostech, v tunelech i v blízkosti protihlukových stěn. Oproti statistické metodě při průjezdu (SPB) je metoda CPX velmi rychlá. Nevýhodou je použití

referenčních pneumatik, jejichž počet je omezen. Veškeré podrobnosti metody SPB jsou specifikovány v normě ISO 11819-2. (3) (12)



Obrázek 7: Měřicí přívěs CPX (12)

1.5.1.3. Controlled Pass-By (CPB)

Metoda Controlled Pass-By (CPB) je obdobnou metodou SPB. Rozdíl je takový, že u této metody se testují dva vybrané automobily různé velikosti s vybranými pneumatikami. Na každé auto jsou 2 sady pneumatik. Mikrofonem, který má stejné parametry umístění jako u metody SPB, se měří maximální hladina hluku a vypočítá se průměrná hodnota pro konkrétní měřicí rychlosti. Tím, že sady pneumatik jsou přímo na vozidle, nejsou namontovaná na přívěsu taženém za automobilem, má připravený mikrofon se zapnutým motorem na vozidle (na hnané nebo ovládané nápravě). (3)

Tato metoda v současné době není uvedena v žádné normě. Využívá se hlavně pro srovnání jednotlivých druhů povrchů vozovek. Její použití je především na uzavřeném zkušebním okruhu. (3)

1.5.1.4. Coast By (CB)

V jednoduchosti lze říct, že jde o stejnou metodu jako metoda CPB, s tím rozdílem, že měření probíhá s vypnutým motorem na vozidle. Míjením připraveného mikrofonu se opět měří maximální hladina hluku a pomocí regrese se zjišťuje hladina hluku pro referenční rychlosti osobních a nákladních vozidel. Referenční rychlost pro osobní vozidla je $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a nákladní vozidla $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Použití této metody je také především na uzavřeném zkušebním okruhu. (3)

1.5.1.5. On-Board Sound Intensity (OBSI)

On-Board Sound Intensity (OBSI) je metoda podobná metodě CPX, jediným rozdílem je, že místo sady mikrofonů se používají sondy akustické intenzity. Metoda není citlivá na okolní hluk, nepotřebuje speciální přívěs. (3)



Obrázek 8: Umístění sond kolem referenční pneumatiky (13)

2. Navrhování nízkohlučných asfaltových směsí

Mým úkolem bylo navrhnout dvě asfaltové směsi s nízkou hlučností o maximální velikosti zrna 8 mm dle TP 259 tak, aby obě směsi měly stejnou mezerovitost. Jednalo se o asfaltový koberec mastixový se sníženou hlučností (SMA 8 NH) a asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy se sníženou hlučností (BBTM 8 NH). Pro SMA 8 NH bylo použito kamenivo zrnitosti 0/2 mm, 4/8 mm a filer. Pro BBTM 8 NH bylo použito kamenivo zrnitosti 0/2 mm, 2/5 mm, 4/8 mm a filer. Jako asfaltové pojivo pro obě asfaltové směsi byl použit modifikovaný asfalt PMB 25/55-60.

Nejdříve jsem si navrhl recepturu pro BBTM 8 NH. Receptura spočívá v navržení čáry zrnitosti v oboru zrnitosti kameniva, v obsahu asfaltového pojiva a v obsahu celulózových vláknec, které se přidávají k zamezení rizika stékavosti asfaltového pojiva a pro lepší přilnavost pojiva ke kamenivu. Z navržené receptury jsem si umíchal směs. Umíchanou asfaltovou směs jsem si rozdělil podle potřeby na dvě části. Jednu část jsem si dal vychladnout (nezhutněná asfaltová směs) a z druhé části jsem si vyrobil jednu sadu zkušebních těles (Marshallova tělesa) (zhutněná asfaltová směs). Na nezhutněné i zhutněné směsi jsem provedl stanovení objemové hmotnosti. Nezhutněná část byla měřena dle ČSN EN 12697-5 metodou A (stanovení v pyknometru) a nezhutněná část byla měřena dle ČSN EN 12697-6 metodou B (stanovení vážením ve vodě a na suchu). Ze získaných objemových hmotností jsem dle ČSN EN 12697-8 vypočítal mezerovitost asfaltové směsi.

U asfaltové směsi SMA 8 NH byl postup zcela totožný jako u BBTM 8 NH, jen z umíchané směsi jsem si vyrobil dvě sady Marshallových těles s různým obsahem asfaltového pojiva. Následně jsem opět provedl stanovení objemové hmotnosti na nezhutněné a zhutněné směsi, ze kterých jsem vypočítal mezerovitost obou sad Marshallových těles.

Vypočítané mezerovitosti asfaltových směsí BBTM 8 NH a SMA 8 NH jsem porovnal a vybral recepturu SMA 8 NH, která se nejvíce svou mezerovitostí rovnala BBTM 8 NH. Kdyby vypočítaná mezerovitost nebyla stejná, upravoval bych recepturu SMA 8 NH, dokud by nebyly stejné výsledky mezerovitostí obou navržených asfaltových směsí.

Po výpočtu a výběru správných receptur asfaltových směsí BBTM 8 NH a SMA 8 NH jsem si tyto směsi umíchal a následně, dle ČSN EN 12697-33 metodou užívající lamely zatlačované válcem, vyrobil zkušební tělesa (desky o rozměru 320 x 260 x 40 mm). Na vyrobených zkušebních deskách jsem provedl následující zkoušky:

- Měření útlumu hluku pomocí akustické impedanční trubice
- ČSN EN 12697-22 Zkouška pojíždění kolem
- ČSN EN 12697-26 Tuhost

Výsledky těchto zkoušek jsem porovnal a z nich vyvodil závěry.

2.1. Vstupní materiály

Vstupními materiály bylo plnivo – kamenivo tvořeno vybranými frakcemi a vápencová moučka (filer), pojivo – modifikovaný asfalt PMB 25/55-60 a stabilizační přísada – celulózová vlákna.

2.1.1. Kamenivo

Pro BBTM 8 NH bylo použito drcené kamenivo zrnitosti 0/2 mm, 2/5 mm, 4/8 mm a filer a pro SMA 8 NH bylo použito kamenivo zrnitosti 0/2 mm, 4/8 mm a filer. U kameniva byly nutné provést potřebné zkoušky na geometrické a mechanické vlastnosti. Jednalo se o sítový rozbor dle ČSN EN 933-1, tvarový index dle ČSN EN 933-4 a nasákavost dle ČSN EN 1097-6. V následujících grafech a tabulkách můžeme vidět výsledky sítového rozboru daných zrnitostí a výsledky zkoušek kameniva.

2.1.1.1. ČSN EN 933-1 Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor (14)

Podstata zkoušky: sítový rozbor slouží k roztřizení a oddělení materiálu do několika frakcí za pomoci sady sít se sestupnou velikostí otvorů. Otvory sít a počet sít jsou vybrány dle druhu vzorků a požadované přesnosti.



Obrázek 9: Kamenivo frakce 4/8 (30)



Obrázek 10: Kamenivo frakce 2/5 (30)



Obrázek 11: Kamenivo frakce 0/2 (30)



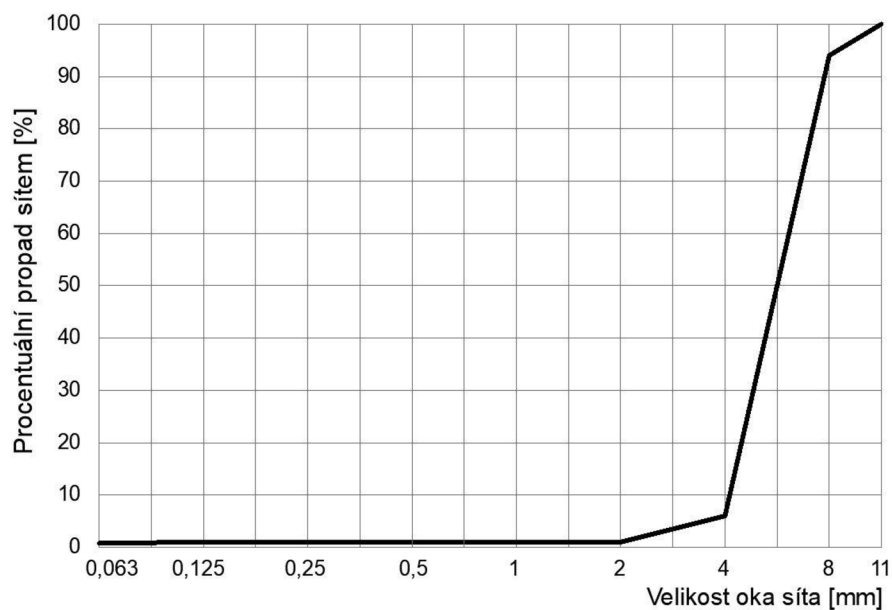
Obrázek 12: Filer (30)



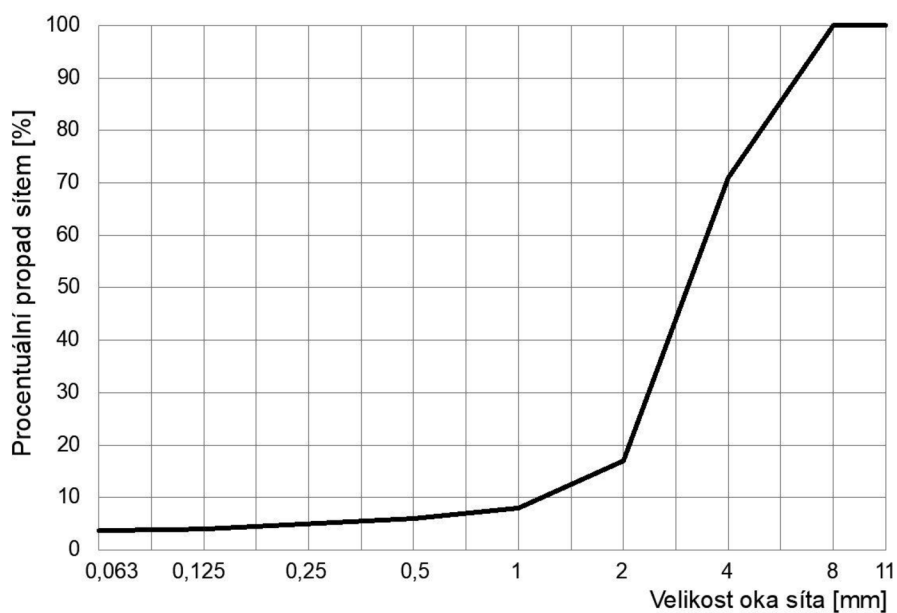
Obrázek 93: Celulózová vlákna (30)

Tabulka 5: Výsledky síťového rozboru frakcí kameniva (30)

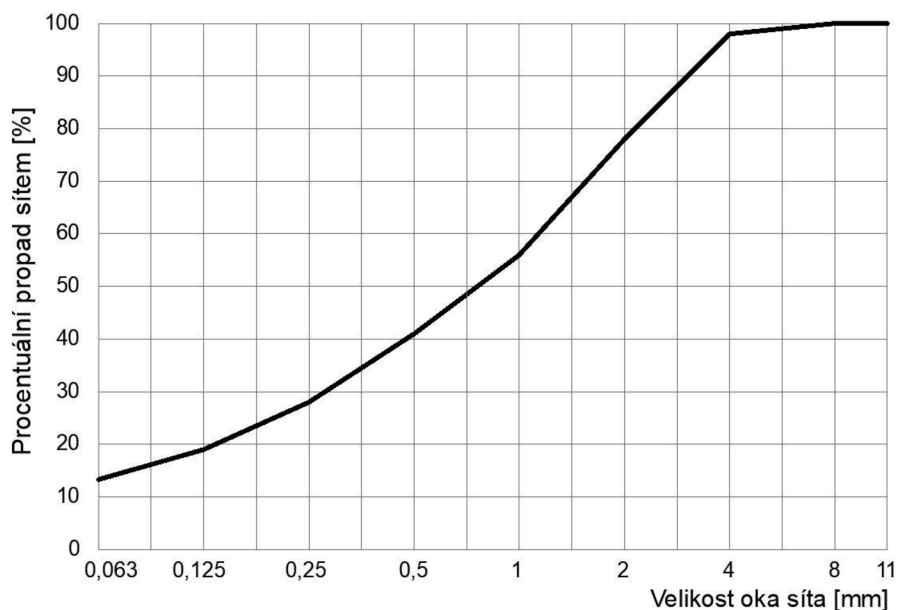
FRAKCE	11	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
4-8	100	94	94	6	1	1	1	1	1	0,8
2-5	100	100	100	71	17	8	6	5	4	3,7
0-2	100	100	100	98	78	56	41	28	19	13,3
FILER	100	100	100	100	100	100	99	95	85	70,2



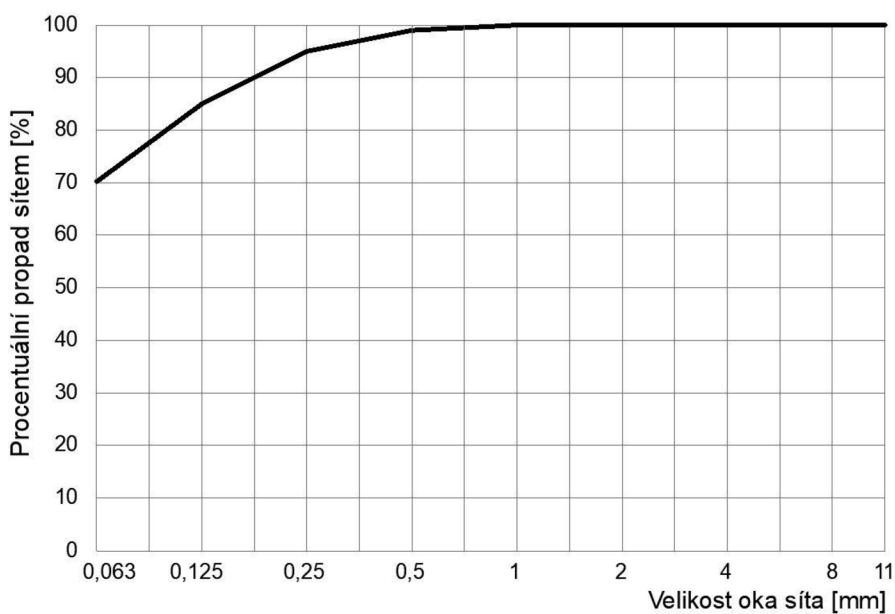
Graf 7: Výsledky síťového rozboru pro frakci 4/8 (30)



Graf 8: Výsledky síťového rozboru pro frakci 2/5 (30)



Graf 9: Výsledky síťového rozboru pro frakci 0/2 (30)



Graf 10: Výsledky síťového rozboru fileru (30)

2.1.1.2. ČSN EN 933-4 Stanovení tvaru zrn – Tvarový index (15)

Podstata zkoušky: Jednotlivá zrna ve vzorku hrubého kameniva se roztrídí na kubická a nekubická zrna za pomoci poměru jejich délky L k tloušťce E . Poměr je obvykle stanoven dvoučelistovým posuvným měřítkem, kde rozteče čelistí jsou v poměru 3:1. Nekubická zrna jsou charakterizována poměrem délky

ku tloušťce větší než 3 ($L/E > 3$). Na posuvném měřítku je změřena největší délka zrna (L) a propadne-li čelistí s třikrát menší roztečí (E), jedná se o nekubické zrno. Tvarový index je potom určen jako hmotnostní podíl nekubických zrn (poměr rozměrů $L/E > 3$) a celkové hmotnosti zkoušených zrn vyjádřený v procentech.

2.1.1.3. ČSN EN 1097-6 Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavost – Nasákavost (16)

Podstata zkoušky: Vzorek kameniva nasákne vodou do ustálené hmotnosti, zváží se a vysuší do ustálené hmotnosti. Rozdíl v hmotnostech je množství vody, kterou kamenivo nasákne. Voda může být z povrchu kameniva i z přístupných pórů zrn kameniva.

Tabulka 6: Výsledky zkoušek tvarového indexu a nasákavosti (30)

KAMENIVO	4-8	2-5	0-2
TYP ZKOUŠKY			
Tvarový index SI v %	12,3	11,4	-
Nasákavost WA ₂₄ v %	0,4	0,5	1,4

Pro kamenivo do BBTM 8 NH a SMA 8 NH dle TP 259 je stanovena horní mez tvarového indexu 30 %, a pro nasákavost je stanovena horní mez 2 %. Pokud kamenivo má nasákavost menší než 1,5 %, je mrazuvzdorné.

2.1.2. Asfaltové pojivo

Pro směsi BBTM 8 NH a SMA 8 NH jsem použil modifikovaný asfalt PMB 25/55-60. Vyrábí se v rafinériích a je ideální řešením pro vozovky v oblastech s extrémními klimatickými podmínkami anebo zvláště hustým provozem. Polymerem modifikované asfalty jsou charakteristické zlepšenou teplotní citlivostí (zvětšení oboru použitelnosti), zlepšují odolnost proti tvorbě trvalým deformacím a nízkoteplotních trhlin, zlepšují přilnavost ke kamenivu a snižují stárnutí asfaltu. Na asfaltovém pojivu jsem provedl laboratorní

zkoušky. Jednalo se o stanovení penetrace jehlou dle ČSN EN 1426, stanovení bodu měknutí dle ČSN EN 1427 a stanovení vratné duktility dle ČSN EN 13398.
(17)

2.1.2.1. ČSN EN 1426 Stanovení penetrace jehlou (18)

Podstata zkoušky: změří se průnik normalizované jehly do vytemperovaného analytického vzorku za zkušebních podmínek zkoušky a to teplota 25 °C pro penetraci do 330 x 0,1 mm, zatížení 100 g a doba zatížení 5 s. Změřená hodnota je penetrace v 0,1 mm.

Použité pojivo by mělo vykazovat penetraci v rozmezí 25 až 55 penetračních jednotek (dále jen PJ). Výsledná hodnota penetrace byla 49,8 PJ a je v požadovaném rozmezí.



Obrázek 14: Provádění zkoušky penetrace jehlou (30)

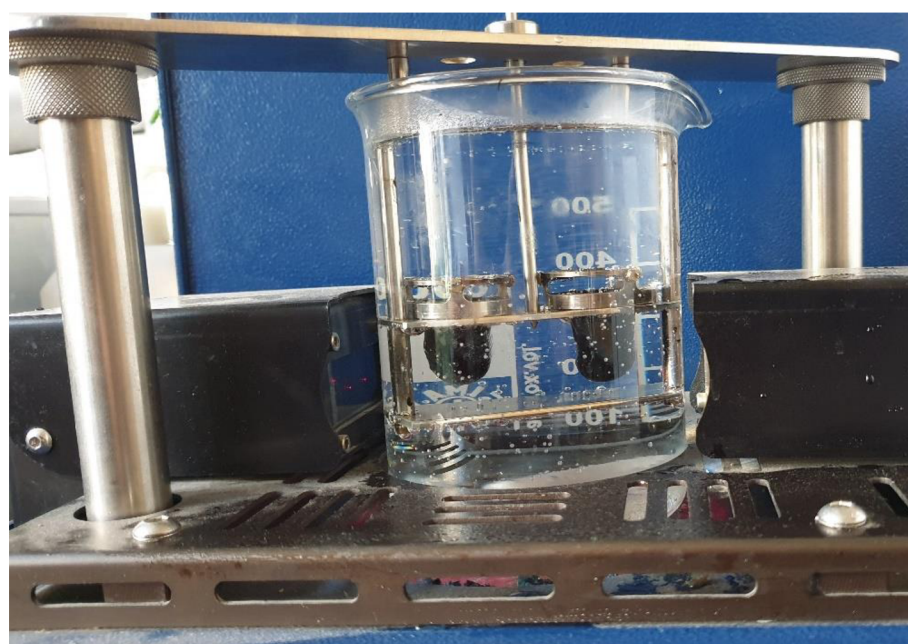
2.1.2.2. ČSN EN 1427 Stanovení bodu měknutí (19)

Podstata zkoušky: ve vodní lázni se zahřívají řízenou rychlostí dva kotoučky z asfaltového pojiva, odlité v mosazných kroužcích s osazením, na kterých je umístěna ocelová kulička ve středícím prstenci. Při dosažení bodu měknutí jsou asfaltové kotoučky natolik tekuté, že kuličky obalené asfaltem projdou skrze kroužek o vzdálenost $25 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$. Tyto propady jsou zaznamenány laserovým snímačem, který uloží dané teploty propadů a výsledky zprůměruje.

Bod měknutí je horní hranicí oboru použitelnosti asfaltového pojiva a neměl by být nižší než $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Výsledná hodnota byla $67,3 \text{ }^\circ\text{C}$, tudíž zkouška byla úspěšná.



Obrázek 15: Kroužky s odlitým asfaltovým pojivem (30)



Obrázek 16: Provádění zkoušky bodu měknutí (30)

2.1.2.3. ČSN EN 13398 Stanovení vratné duktility (20)

Podstata zkoušky: připravený vzorek asfaltového tělíška, temperovaný na teplotu 25 °C, je následně protahován rychlostí 50 mm/min na cílovou hodnotu 200 mm. Bezprostředně po dosažení hranice 200 mm se protažené asfaltové vlákno přestřihne, aby se získaly dvě poloviny vlákna. Po uplynutí předem určené doby (30 min), kdy se vlákna stáhnou zpět, se změří zkrácení polovláken a vyjadřuje se jako procento z délky prodloužení.

Stanovení vratné duktility vypovídá o pružnosti vzorku (schopnosti navrátit se do původního stavu po odtížení). Vypočítaná hodnota vratné duktility byla 86 %, to vypovídá o dobré resilienci asfaltového pojiva (schopnost se vrátit do původního stavu).



Obrázek 107: Provedení zkoušky vratné duktility 1 (30)



Obrázek 118: Provedení zkoušky vratné duktility 2 (30)

2.2. Popis návrhu, výroby zkušebních těles (Marshallova tělesa) a jejich zkoušení – BBTM 8 NH

Návrh asfaltové směsi byl proveden dle TP 259.

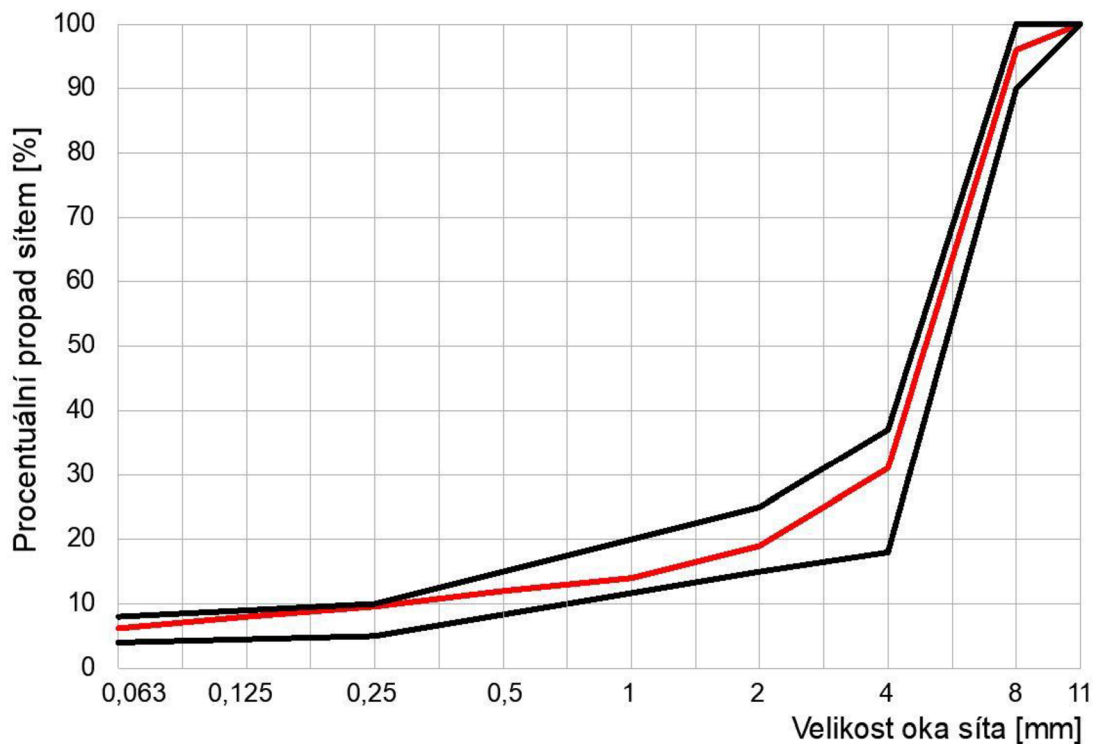
2.2.1. Popis návrhu směsi

Nejdříve se navrhuje křivka zrnitosti, která se musí nacházet v oboru zrnitosti kameniva dané směsi.

Tabulka 7: Obor zrnitosti kamenivo pro BBTM 8 NH (30)

BBTM 8 NH						
zrnitost v mm	11	8	4	2	0,125	0,063
meze v %	100	90-100	18-37	15-25	5-10	4-8

V následujícím grafu můžeme vidět obor zrnitosti kameniva pro BBTM 8 NH i s navrženou křivkou zrnitosti.



Graf 11: Obor zrnitosti kameniva pro BBTM 8 NH s navrženou křivkou zrnitosti (30)

Z tabulky 2 této práce (str. 16), která je součástí TP 259, byl vybrán modifikovaný asfalt PMB 25/55-60. Minimální obsah asfaltového pojiva pro BBTM 8 NH dle TP 259 je 5,3 % z hmotnosti směsi. Jako optimum obsahu pojiva bylo stanoveno 5,7 % z hmotnosti směsi. Do návrhu směsi byla přidána stabilizační přísada ve formě celulózových vláken v množství 0,3 % z hmotnosti směsi.

2.2.2. ČSN EN 12697-35 Laboratorní výroba směsi (21) ČSN EN 12697-30 Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem (22)

Postup zkoušky: nejdříve se vysuší kamenivo, filer a celulózová vlákna při teplotě 120 °C v sušárně. Po vysušení se naváží navržené množství dle receptury a důkladně se promíchá. Připravená směs kameniva, fileru a celulózových vláken (celulózová vlákna zatím nejsou smíchána se směsí kameniva a fileru) se společně s plechovkou asfaltového pojiva vloží opět do sušárny, ale již na teplotu míchání 170 °C. Po dosažení této teploty se připravená směs nasype do předehřáté nádoby od míchačky, kde se promíchá s celulózovými vlákny. Poté se naváží navržené množství asfaltového pojiva a celá směs se důkladně promíchá v laboratorní míchačce. Míchání není u konce, dokud nejsou všechna zrna kameniva obaleny asfaltovým pojivem. Po namíchání směsi se nadávkuje do ocelových nádob předem stanovené množství směsi pro výrobu zkušebních těles (Marshallova tělesa) a opět se vloží do sušárny, která se nastavila na teplotu hutnění směsi 160 °C a zároveň se odloží trochu směsi na pekáč pro stanovení maximální objemové hmotnosti.



Obrázek 129: Laboratorní míchačka (30)

Postup zkoušky: nejdříve se vysypalo množství směsi na přípravu jednoho zkušebního tělesa z ocelových nádob do formy předepsaných rozměrů určených přímo pro výrobu zkušebního tělesa. Směs se vysypávala po třetinách a po každém usypání do formy jsem srovnal povrch. Celkem byla jedna sada po třech Marshallových tělesech. Potom se forma vložila pod hutnický pěch rázového zhutňovače. Hutnění bylo provedeno 50 úderů pěchu z každé strany tělesa.



Obrázek 20: Ocelová nádoba na namíchanou směs pro jedno zkušební těleso (vlevo) a forma pro výrobu zkušebního tělesa (vpravo) (30)



Obrázek 21: Rázový zhuťňovač (30)



Obrázek 22: Jedna sada Marshallových těles (30)

2.2.3. ČSN EN 12697-5 Stanovení maximální objemové hmotnosti – Metoda A (23)

Podstata zkoušky: tato norma se zabývá stanovením maximální objemové hmotnosti nezhuťné asfaltové směsi. Maximální objemová hmotnost znamená hmotnost při dané zkušební teplotě připadající na jednotku objemu asfaltové směsi bez mezer. Pro výpočet lze použít tři metody a to volumetrickou, hydrostatickou a matematickou. Pro tuto práci jsem použil volumetrickou metodu. Je to metoda stanovení objemové hmotnosti pomocí pyknometru naplněným odvzdušněnou vodou.

Postup zkoušky: nejprve se stanovila hmotnost (m_1) prázdného pyknometru s nástavcem o známém objemu (V_p). Nachystanou část po umíchání směsi jsem musel rozmělnovat, aby nebyly hrudky. Takto připravený vzorek se umístil do pyknometru a nechal se temperovat na okolní teplotu. Poté se zvažila hmotnost pyknometru s nástavcem (m_2). Zvážený pyknometr se naplnil odvzdušněnou vodou maximálně do výšky 30 mm pod okraj. Zachycený zbylý vzduch se odstranil použitím částečného vakua, který měl zbytkový tlak 4 kPa nebo méně, po dobu 15 min \pm 1 min. Nástavec pyknometru se nasadil po opatrném naplnění pyknometru odvzdušněnou vodou až téměř po referenční značku nástavce tak, aby nedošlo k vniknutí vzduchu. Poté se pyknometr

umístil do vodní lázně s rovnoměrnou zkušební teplotou ($\pm 1,0$ °C) na dobu nejméně 30 min, ne však déle než na 180 minut, aby se dosáhlo vyrovnání teploty vzorku a vody v pyknometru s teplotou vody ve vodní lázni. Voda ve vodní lázni musela dosahovat přibližně do výšky 20 mm pod okraj pyknometru. Pyknometr se po vyrovnání teplot doplnil vodou, která měla stejnou teplotu jako je zkušební teplota vodní lázně, po značku na nástavci. Následně se pyknometr vyjmul z vodní lázně, z vnější strany se osušil a hned se stanovila jeho hmotnost (m_3).

V následující tabulce můžeme vidět výsledky maximální objemové hmotnosti nezhotučené směsi.

Tabulka 8: Maximální objemová hmotnost stanovena ve vodě (30)

Pyknometr	II	III	\emptyset
Maximální objemová hmotnost v kg/m^3	2 604,8	2 583,3	2 594,1



Obrázek 23: Vážení pyknometru se směsí i nástavcem (30)



Obrázek 24: Vážení pyknometru se směsí, nástavcem a doplněnou vodou po rysku (30)

2.2.4. ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa – Metoda B (24)

Podstata zkoušky: objemová hmotnost neporušeného zhutněného asfaltového zkušební tělesa se stanoví z hmotnosti zkušební tělesa a jeho objemu. Hmotnost zkušební tělesa se získá vážením suchého vzorku na vzduchu. Při postupu SSD (nasyčený suchý povrch) se zkušební těleso nejdříve nasytí vodou a poté se jeho povrch osuší vlhkou jelenicí.

Postup zkoušky: nejprve se stanovila hmotnost suchého zkušební tělesa (m_1). Stanovila se hustota vody při zkušební teplotě. Zkušební těleso se ponořilo do vodní lázně udržované při známé zkušební teplotě. Těleso se ponechalo dostatečně dlouho sytit vodou tak, aby se jeho hmotnost po nasycení ustálila na konstantní hodnotě (min. 30 min). Stanovila se hmotnost ponořeného, nasyceného zkušební tělesa (m_2). Těleso se vyjmulo z vody, povrchově se osušilo (z povrchu se odstranily kapky vody) otřením vlhkou jelenicí a ihned se zvažilo (m_3).

V následující tabulce můžeme vidět výsledky objemové hmotnosti Marshallových těles.

Tabulka 9: Objemová hmotnost Marshallových těles (30)

Zkušební těleso	1	2	3	Ø
Objemová hmotnost SSD v kg/m ³	2 300,9	2 315,3	2 321,4	2 312,5

2.2.5. ČSN EN 12697-8 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí (25)

Podstata zkoušky: mezerovitost asfaltového zkušební tělesa se vypočítá pomocí maximální objemové hmotnosti směsi a objemové hmotnosti zkušební tělesa.

Výpočet: mezerovitost se vypočítá s přesností 0,1 % (v/v) následujícím způsobem:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \times 100 \% \text{ (v/v)}$$

kde V_m je mezerovitost směsi s přesností 0,1 % (v/v);
 ρ_m maximální objemová hmotnost směsi v kg/m³;
 ρ_b objemová hmotnost zkušebního tělesa v kg/m³.

V následující tabulce můžeme vidět výslednou hodnotu mezerovitosti směsi.

Tabulka 10: Výsledná hodnota mezerovitosti směsi (30)

ρ_m v kg/m ³	ρ_b v kg/m ³	V_m v %
2 594,1	2 312,5	10,9

2.3. Popis návrhu, výroby zkušebních těles (Marshallova tělesa) a jejich zkoušení – SMA 8 NH

Návrh asfaltové směsi byl proveden dle TP 259.

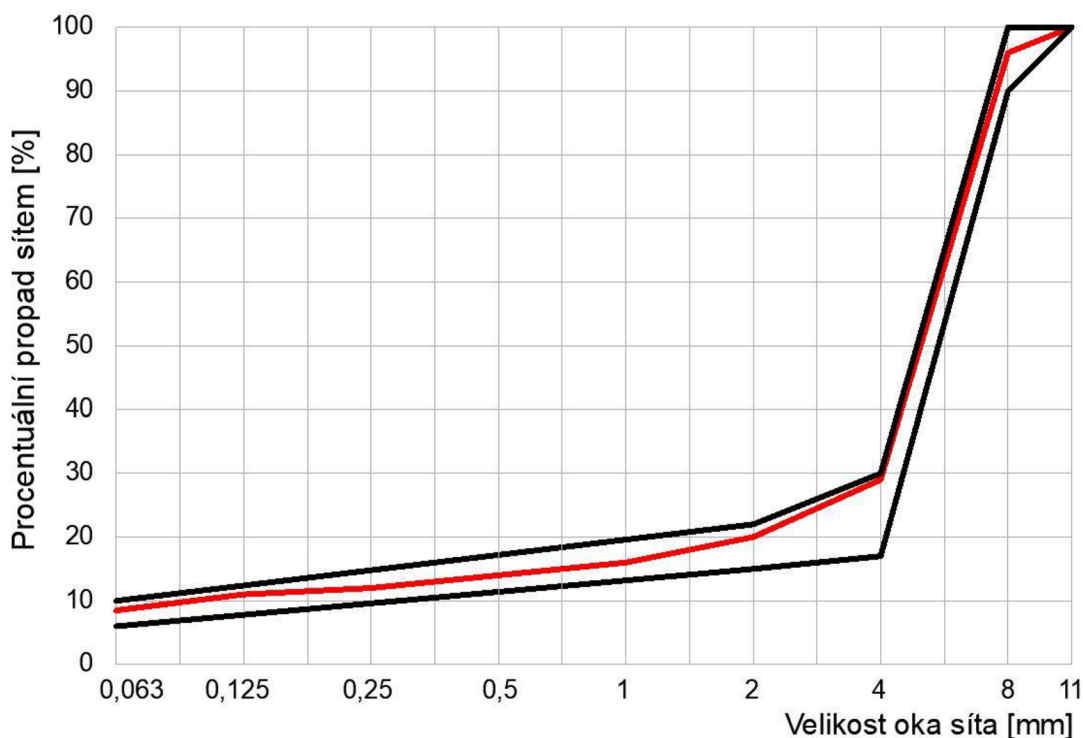
2.3.1. Popis návrhu směsi

Nejdříve se navrhuje křivka zrnitosti, která se musí nacházet v oboru zrnitosti kameniva dané směsi.

Tabulka 11: Obor zrnitosti kamenivo pro SMA 8 NH (30)

SMA 8 NH						
zrnitost v mm	11	8	4	2	0,125	0,063
meze v %	100	90-100	17-30	15-22	-	6-10

V následujícím grafu můžeme vidět obor zrnitosti kameniva pro SMA 8 NH i s navrženou křivkou zrnitosti.



Graf 12: Obor zrnitosti kameniva pro SMA 8 NH s navrženou křivkou zrnitosti (30)

Pro tuto směs byl použit také modifikovaný asfalt PMB 25/55-60. Minimální obsah asfaltového pojiva pro SMA 8 NH dle TP 259 je 6,2 % z hmotnosti směsi. Jako optimum obsahu pojiva bylo stanoveno 6,4 % a 6,7 % z hmotnosti směsi. Do návrhu směsi byla přidána stabilizační přísada ve formě celulósových vláken v množství 0,3 % z hmotnosti směsi.

2.3.2. ČSN EN 12697-35 Laboratorní výroba směsi (21) ČSN EN 12697-30 Příprava zkušebních těles rázovým zhuťovačem (22)

Postup laboratorní výroby směsi SMA 8 NH byl zcela totožný s postupem směsi BBTM 8 NH.

Postup přípravy zkušebních těles byl také zcela totožný s postupem směsi BBTM 8 NH. Pro směsi SMA 8 NH bylo zapotřebí celkem dvě sady po třech Marshallových tělesech.



Obrázek 25: Dvě sady Marshallových těles (30)

2.3.3. ČSN EN 12697-5 Stanovení maximální objemové hmotnosti – Metoda A (23)

Opět podstata a postup zkoušky byl zcela totožný jako u směsi BBTM 8 NH. V následující tabulce můžeme vidět výsledky maximální objemové hmotnosti nezhuťné směsi.

Tabulka 12: Maximální objemová hmotnost stanovená ve vodě (30)

obsah asfaltového pojiva v %	Pyknometr	II	III	∅
6,4	Maximální objemová hmotnost v kg/m ³	2 569,5	2 582,7	2 576,1
6,7	Maximální objemová hmotnost v kg/m ³	2 554,8	2 573,3	2 564,1

2.3.4. ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa – Metoda B (24)

Opět podstata a postup zkoušky byl zcela totožný jako u směsi BBTM 8NH. V následující tabulce můžeme vidět výsledky objemové hmotnosti Marshallových těles.

Tabulka 13: Objemová hmotnost Marshallových těles (30)

obsah asfaltového pojiva v %	Zkušební těleso	1	2	3	∅
6,4	Objemová hmotnost SSD v kg/m ³	2 282,4	2 298,7	2 290,5	2 290,5
6,7	Objemová hmotnost SSD v kg/m ³	2 258,7	2 272,3	2 237,8	2 256,3

2.3.5. ČSN EN 12697-8 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí (25)

Opět podstata a postup zkoušky byl zcela totožný jako u směsi BBTM 8 NH. V následující tabulce můžeme vidět výslednou hodnotu mezerovitosti směsi.

Tabulka 14: Výsledná hodnota mezerovitosti směsi (30)

obsah asfaltového pojiva v %	ρ_m v kg/m ³	ρ_b v kg/m ³	V_m v %
6,4	2 576,1	2 290,5	11,1
6,7	2 564,1	2 256,3	12,0

Stanovení objemové hmotnosti dle ČSN EN 12697-6 metodou B způsobuje při výpočtu mezerovitosti dle ČSN EN 12697-8 rozptyly výsledků, které jsou způsobeny vniknutím vody do každého vzorku jinak.

Tabulka 15: Hodnoty obsahu asfaltového pojiva a výsledná mezerovitost směsí (30)

typ směsi	obsah asfaltového pojiva v %	mezerovitost v %
BBTM 8 NH	5,7	10,9
SMA 8 NH	6,4	11,1
	6,7	12,0

Proto můžeme říct, že rozptyl 0,2 % mezi mezerovitostmi směsí BBTM 8 NH a směsí SMA 8 NH při 6,4 % obsahu asfaltového pojiva je zanedbatelný, tudíž byly vybrány tyto dvě receptury. Následně jsem si mohl připravit zkušební tělesa (desky) a dále mohl srovnávat jejich parametry. Rozptyl 1,1 % směsí BBTM 8 NH a SMA 8 NH při 6,7 % obsahu asfaltového pojiva je již opravdu velký a nevyhovuje požadavkům, aby mezerovitost byla stejná u obou směsí.

2.4. Výroba zkušebních desek a jejich zkoušení – BBTM 8 NH a SMA 8 NH

V rámci této diplomové práce byly vyrobeny 4 zkušební desky dle ČSN EN 12697-33. 2 zkušební desky pro BBTM 8 NH s obsahem asfaltového pojiva 5,7 % a 2 pro SMA 8 NH s obsahem asfaltového pojiva 6,4 %. Receptura těchto směsí se navrhla v kapitole 2 této práce. Na vyrobených zkušebních deskách byly provedeny vybrané funkční zkoušky. Jednalo se o měření útlumu hluku (akustické pohltivosti) pomocí akustické impedanční trubice, zkoušku pojiždění kolem dle ČSN EN 12697-22 a tuhost dle ČSN EN 12697-26.

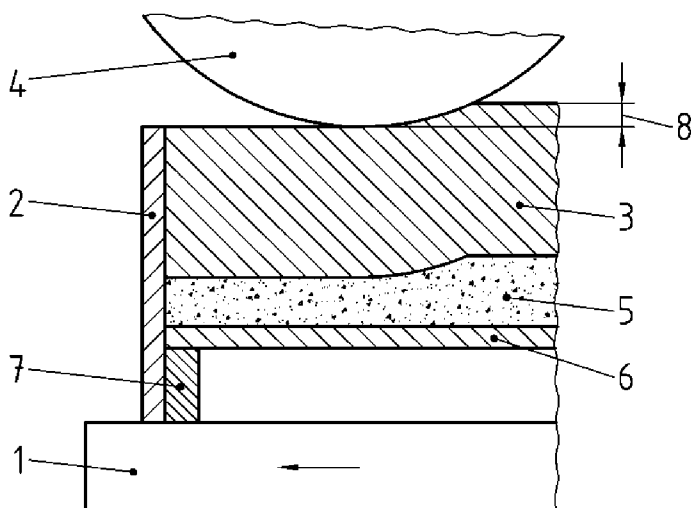
Tabulka 16: Přehled parametrů směsí BBTM 8 NH a SMA 8 NH (30)

typ směsi	druh asfaltového pojiva	obsah asfaltového pojiva v %	mezerovitost v %	teplota míchání v °C	teplota hutnění v °C
BBTM 8 NH	PMB 25/55-60	5,7	10,9	170	160
SMA 8 NH	PMB 25/55-60	6,4	11,1		

2.4.1. ČSN EN 12697-33 Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek (26)

Podle vybraných receptur jsem nejdříve umíchal obě směsi dle kapitoly 2.2.2. ČSN EN 12697-35 *Laboratorní výroba směsi*, které měly předem stanovené množství směsi pro výrobu zkušebních desek rozměrů 320 x 260 x 40 mm. Před plněním formy se musela forma a podkladní deska lehce potřít separačním prostředkem, který není rozpouštědlem pro asfaltové pojivo. Zároveň se forma nastavila na požadovanou tloušťku desky 40 mm.

Podstata zkoušky: dané množství asfaltové směsi se zhutní v plošné formě při zatížení vyvinutém hladkým ocelovým válcem. Hladký ocelový válec působí na určitý počet lamel způsobujících hnětení směsi. Válec pojíždí konstantní rychlostí a výsledkem jsou zhutněné zkušební tělesa (desky).



Legenda

- | | |
|--|---|
| 1 stůl pohybující se ve směru šipky | 6 podkladní deska |
| 2 forma, připevněná ke stolu pomocí šroubu | 7 distanční rám |
| 3 lamely | 8 lamely válce jsou výše než forma a tento rozdíl se stává nulovým po určitém počtu pojezdů válce |
| 4 válec | |
| 5 asfaltová směs | |

Obrázek 26: Hutnící zařízení pro metodu užívající válce a svislé lamely (26)

Forma se naplnila předem stanoveným množstvím asfaltové směsi. Směs se opatrně a rovnoměrně rozprostřela do formy pomocí lopatky a zabránilo se segregaci směsi. Směs se upěchovala tak, aby byly vyplněny rohy formy, a povrch byl pokud možno co nejrovnější před tím, než se zahájilo

hutnění. Na upěchovanou směs se položil plech, který byl natřen separačním prostředkem. Na plech se vertikálně vedle sebe vyskládaly ocelové lamely. Spustil se válec, který pojížděl naskládané lamely z jednoho konce formy na druhý. Válec zatlačoval lamely do úrovně hran formy, když byly lamely ve stejné úrovni jako hrana formy, proces hutnění se ukončil.

Po ukončení procesu hutnění se zkušební tělesa před rozebráním formy nechala vychladnout na laboratorní teplotu (cca 30 min).



Obrázek 27: Lamelový zhutňovač (30)



Obrázek 28: Hotová zhutněná deska BBTM 8 NH (30)



Obrázek 29: Hotová zhutněná deska SMA 8 NH (30)



Obrázek 30: Pohled na řez deskou směsi BBTM 8 NH (30)



Obrázek 31: Pohled na řez deskou směsi SMA 8 NH (30)

Na předchozích obrázcích vidíme detailní struktury obou směsí. Na první pohled je zřejmé, že ve směsi BBTM 8NH je více jemnější frakce než u směsi SMA 8 NH, je to přibližně o 10 %.

2.4.2. Měření útlumu hluku pomocí akustické impedanční trubice (Kundtova trubice) (27)

Měřením útlumu hluku (akustické pohltivosti) se rozumí schopnost materiálu pohltit část dopadajícího akustického výkonu. Akustická pohltivost se mění s frekvencí a nabývá hodnot 0 až 1. Nula znamená, že daný materiál není schopen pohltit žádné akustické vlnění a všechna energie bude odražena zpět. Akustická pohltivost rovna jedné naopak znamená, že materiál pohltí 100 % dopadající akustické energie.

Dříve se akustická pohltivost zjišťovala v dozvukové místnosti z doby dozvuku. Touto metodou lze stanovit střední akustickou pohltivost materiálu, jímž je dozvuková místnost obložena. 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.

Měření pomocí akustické impedanční trubice je jednou z možností, jak eliminovat výše zmíněné nevýhody. Obecně lze impedanční trubici popsat jako speciální kovovou trubici s reproduktorem sloužícím jako zdroj zvukových vln. Trubice je opatřena otvory sloužícími k vkládání mikrofonů a otvorem pro vkládání vzorku zkoumaného materiálu. Pomocí impedanční trubice lze zjišťovat akustickou pohltivost materiálu, odrazivost a impedanci v rozsahu frekvencí 50 Hz až 6,4 kHz.



Obrázek 32: Impedanční trubice Brüel & Kjær Type 4206 s připojenými mikrofony a napojená na řídicí jednotku (30)

Před začátkem měření se musí připojit mikrofony a vše napojit na řídicí jednotku, která obsahuje vyhodnocovací software. Poté se provede kalibrace. Kalibrace se skládá z nastavení obou měřících mikrofونů, změření odstupe zvukového signálu v trubici od šumu okolí a zjištění korekční frekvenční přenosové funkce HC . Frekvenční přenosové funkce jsou vypočítávány z křížového spektra získávaného ze signálů z dvou měřících mikrofونů. Z tohoto důvodu je nutné určit rozdíly fáze a amplitudy signálů z měřících mikrofونů, jinak by docházelo k znehodnocení vypočítávaných hodnot. Výsledná kalibrační přenosová funkce HC se stanoví jako průměr z přenosových funkcí získaných s různou polohou mikrofونů.

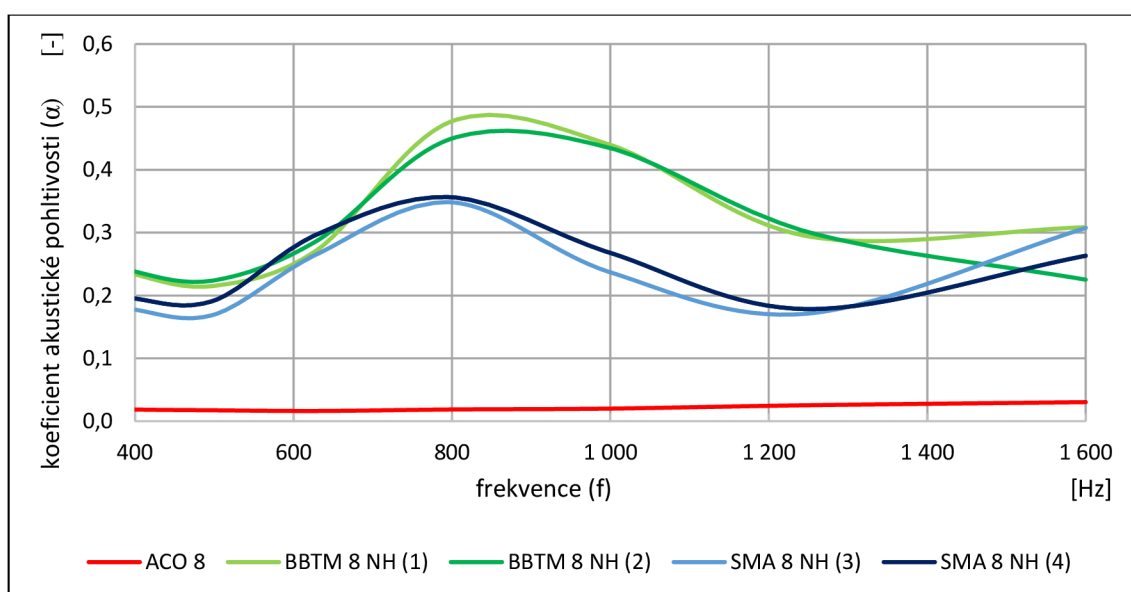
Dvou-mikrofonová metoda měření akustické pohltivosti je založena na rozkladu širokopásmového náhodného signálu do signálu ze zdroje a signálu odraženého. Zvukový signál je vytvářen reproduktorem a je zjišťován ze závislosti mezi akustickými tlaky, které jsou měřeny dvojicí mikrofونů umístěných ve stěně trubice. Tato metodou předpokládá šíření rovinných vln a žádné úniky energie způsobené pohltivostí stěn impedanční trubice.

Postup zkoušky: připravená a zkalibrována impedanční trubice se přes těsnící korunku položí ve vertikální poloze na zkušební desku. Poté se trubice lehce přitlačí ke zkušební desce a spustí se měření. Měření se provádí přibližně 17 s. Přes reproduktor se pouští vzestupně frekvence od 400 Hz až 1 600 Hz. Mikrofony zaznamenávají hodnoty, které jsou přenášeny

a přepočítávají v řídicí jednotce. Hodnoty se zobrazují přímo v daném čase a zároveň se ukládají.



Obrázek 33: Impedanční trubice ve vertikální pozici před měřením (30)



Graf 13: Hodnoty akustické pohltivosti směsi BBTM 8 NH a SMA 8 NH (30)

Hodnoty akustické pohltivosti jsou průměrem 5 měření na každé ze čtyřech zkušebních desek. Z grafu 13, kde můžeme vidět výsledné koeficienty akustické pohltivosti, je zřejmé, že vyšší akustický útlum hluku má směs BBTM 8 NH. Pro srovnání si můžeme všimnout, že asfaltový beton pro obrusné vrstvy (ACO 8) prakticky nemá žádnou akustickou pohltivost.

2.4.3. ČSN EN 12697-22 Zkouška pojiždění kolem (28)

Zařízení pro vyjiždění kolem – malá zkušební zařízení: skládá se ze zatíženého kola působícího na zkušební těleso upevněného na zkušebním stole. Stůl pod kolem nebo kolo nad stolem se pohybují sem a tam a měřicí zařízení měří nárůst vyjeté koleje ve zkušebním tělese. Zkušební stůl, který je zkonstruován tak, aby umožňoval pevné uchycení zkušebního vývrtu o průměru min. 200 mm nebo obdélníkového zkušebního tělesa připraveného v laboratoři. Horní povrch vzorku je ve vodorovné poloze a v požadované rovině pojiždění. Jeho střed je umístěn tak, aby zajišťoval symetrické pojiždění. Zařízení pro regulaci teploty, udržující v průběhu zkoušení konstantní předepsanou teplotu zkušebního tělesa s přesností ± 1 °C.

Podstata zkoušky: náchylnost asfaltové směsi k deformaci se posuzuje měřením hloubky vyjeté koleje vzniklé opakovaným pojezdem zatíženého kola při stálé teplotě.

Příprava zkušebních těles: zkušební tělesa, vyrobené dle ČSN EN 12697-33, se umístí do připravených forem, které je nutno nastavit na požadovanou výšku 40 mm, a důkladně se sešroubují.

Temperování: temperování zkušebních těles se provádí při určené teplotě 50 ± 1 °C po dobu nejméně 4 hodin pro zkušební tělesa s jmenovitou tloušťkou menší nebo rovno 60 mm.

Upevnění zkušebních těles: zkušební těleso se umístí do upínacího zařízení, kde se pevně upevní šrouby ke stolu zařízení a osadí se snímačem teploty přibližně 20 mm pod povrch zkušebního tělesa temperovaného na vzduchu. Teplota v tělese a v okolí tělesa se udržuje na stanovené zkušební teplotě

50 ± 1 °C. Na povrchy zkušebních těles se umístí tenká separační fólie, která zamezí přilepení vzorku na pojezdové kolo.

Záběh: před vlastní zkouškou se provede 5 zatěžovacích cyklů.



Obrázek 34: Pohled na separační fólii po zkoušce poježdění kolem (30)

Průběh zkoušky – metoda B: zařízení se uvede do pohybu a po záběhu se zaznamená počáteční vertikální deformace, pak 6 až 7krát v první hodině zatěžování a poté nejméně po každých 500 zatěžovacích cyklech. Vertikální poloha kola je definována jako průměrná hodnota profilu zkušebního tělesa na délce ± 50 mm od středu zatěžované plochy uprostřed stopy, měřená nejméně v 25 bodech přibližně rovnoměrně rozmístěných. Vertikální poloha kola má být měřena bez zastavení poježdění. Poježdění pokračuje do provedení 10 000 zatěžovacích cyklů (20 000 pojezdů) nebo do dosažení hloubky koleje 20 mm, podle toho co nastane dříve.

Výpočet a vyjádření výsledků (postup B):

Přírůstek hloubky vyjeté koleje na vzduchu:

Přírůstek vyjeté koleje vyjádřený v mm za 10^3 zatěžovacích cyklů se vypočítá jako:

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

kde WTS_{AIR} je přírůstek hloubky vyjeté koleje v mm za 10^3 zatěžovacích cyklů;
 $d_{10\,000}$, $d_{5\,000}$ hloubky vyjeté koleje po 5 000 a 10 000 cyklech v milimetrech.

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 N zatěžovacích cyklech je průměr poměrné hloubky vyjeté koleje ze dvou (nebo více) zkušebních těles s přesností $\pm 0,1$ %. Průměrná hloubka vyjeté koleje vychází z následujícího vztahu:

$$PRD_{AIR} = \frac{d_{5\,000}}{t} \times 100$$

kde PRD_{AIR} je poměrná hloubka koleje za 5 000 zatěžovacích cyklů
 $d_{5\,000}$ hloubky vyjeté koleje po 5 000 cyklech
 t tloušťka zkušebního tělesa v milimetrech

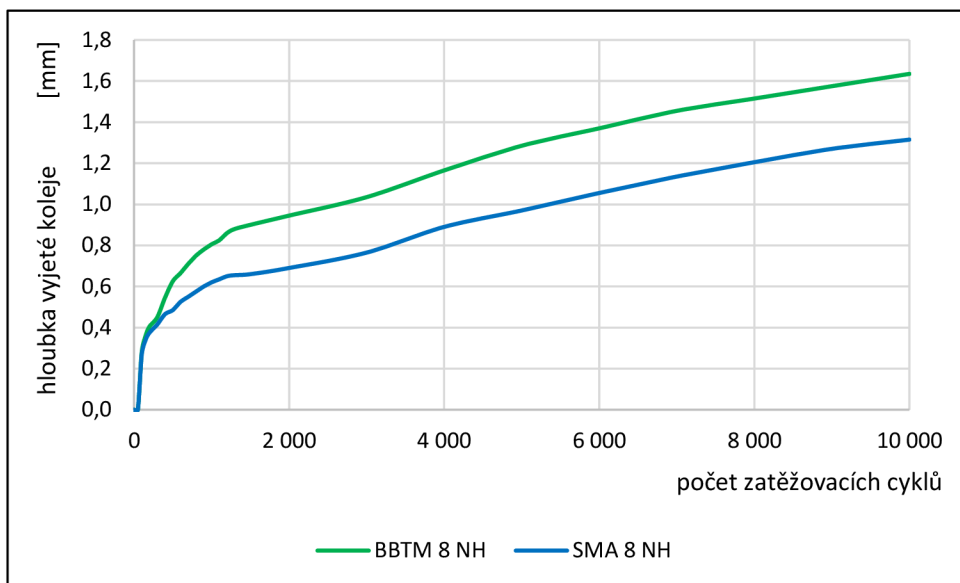


Obrázek 35: Pohled na zkušební tělesa po zkoušce poježdění kolem (30)

Tabulka 17: Výsledné hodnoty přírůstků hloubky koleje, poměrné hloubky koleje a posouzení korektnosti zkoušek (30)

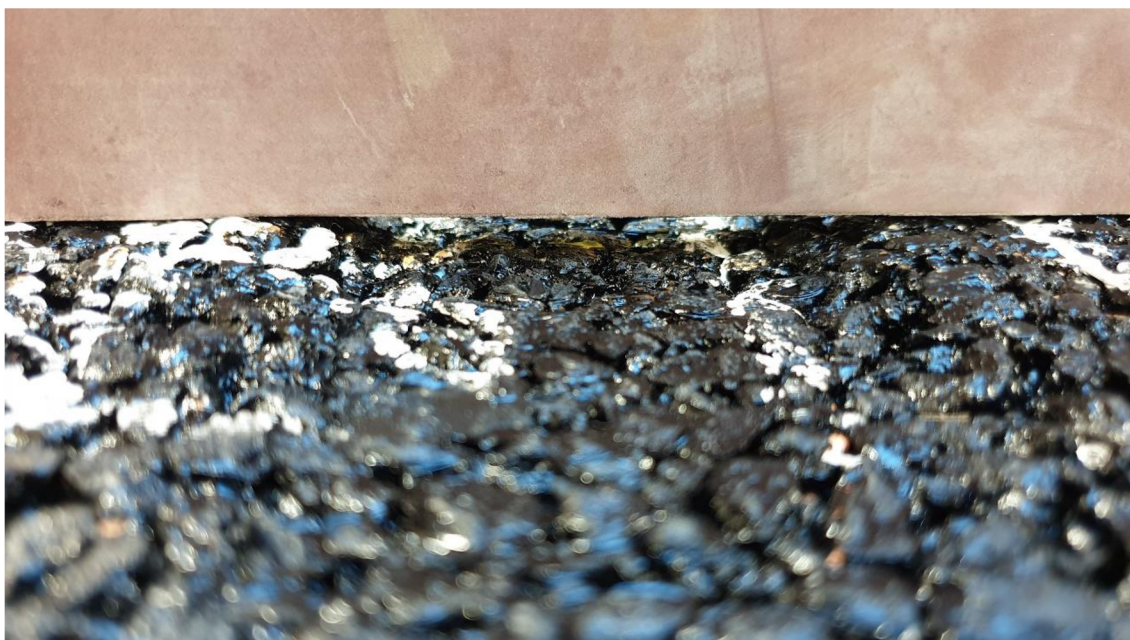
typ směsi	číslo desky	WTS_{AIR} v $mm / 10^3$ cyklů	$\emptyset WTS_{AIR}$ v $mm / 10^3$ cyklů	PRD_{AIR} v % po 5 000 cyklech	$\emptyset PRD_{AIR}$ v % po 5 000 cyklech
BBTM	1	0,064	0,066	3,2	3,4
	2	0,068		3,6	
SMA	3	0,064	0,065	2,5	2,6
	4	0,066		2,8	

$WTS_{AIR MAX}$	<	0,070	
0,068	<	0,070	VYHOVUJE
$PRD_{AIR MAX}$	<	6,0	
3,6	<	6,0	VYHOVUJE



Graf 14: Vyjádření výsledků v grafické podobě (30)

Výsledné hodnoty jsou průměrem výsledků na dvou zkušebních deskách pro každou směs. Z výsledných hodnot zkoušky je zřejmé, že asfaltová směs SMA 8 NH má lepší výsledky zkoušky poježdění kolem a tudíž má lepší odolnost proti trvalým deformacím.



Obrázek 36: Detail vyjeté koleje (30)

2.4.4. ČSN EN 12697-26 Tuhost – 2PB-TR: dvoubodový ohyb na tělesech tvaru jednostranně vetknutého komolého klínu (29)

Podstata zkoušky: měření modulu tuhosti asfaltové směsi zkouškou ohybem jednostranně vetknutého komolého klínu. Sinusová síla nebo sinusový průhyb působí na volný konec zkušební tělesa nalepeného spodní základnou k podkladní desce upevněné k pevnému rámu. Síla nebo průhyb mají být takové, aby způsobovaly přetvoření $\epsilon \leq 50 \times 10^{-6}$. Na základě síly nebo průhybu a fázového úhlu, se vypočítá komplexní modul při různých teplotách a frekvencích.

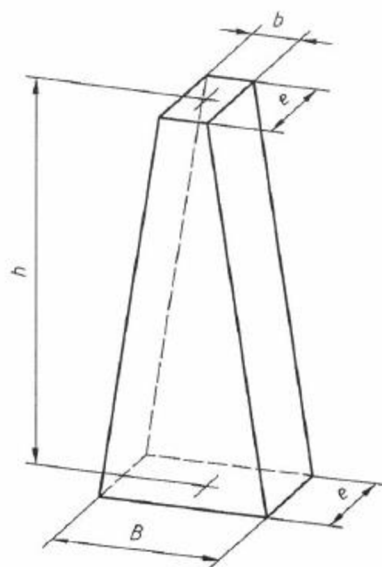
Minimální množství vzorků, které musí být zkoušeno za účelem jediného výsledku zkoušky (= 1 modul tuhosti), jsou 4 tělesa. Zkušební tělesa byla testována při 15 °C a frekvencích 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz a 25 Hz, přičemž rozhodující výsledky jsou při 15 °C a 10 Hz.

Příprava zkušební vzorku: zkušební tělesa mají tvar komolého klínu (trapezoidu) a rozměrech $B = 70 \text{ mm}$, $b = 25 \text{ mm}$, $e = 40 \text{ mm}$ a $h = 250 \text{ mm}$.

Z připravených zkušebních desek jsem na kotoučové pile vyřezal zkušební tělesa tvaru komolého klínu (trapezoidy).



Obrázek 37: Vyřezávání zkušebních těles (30)



Obrázek 38: Geometrie zkušební tělesa (1)

Následně byly zkušební tělesa změřena, zvážena a přilepena spodní částí ke kovové podkladní desce pomocí dvousložkové epoxidové pryskyřice s přidáním vápencové moučky. Na horní část zkušebního tělesa se přilepí destička s kovovým háčkem pro upevnění zatěžovacího zařízení ke zkušebnímu tělesu.



Obrázek 39: Pohled na nařezaná zkušební tělesa (30)



Obrázek 40: Nařezaná a nalepená zkušební tělesa s pohledem na jejich strukturu (30)

Postup zkoušky: zkušební tělesa před provedením zkoušky musela temperovat při teplotě, při které jsem prováděl zkoušku, po dobu nejméně 4 hodin. Poté se zkušební těleso upevnilo do zkušebního zařízení tak, že spodní částí bylo vetknuto přes podkladní kovovou destičku a horní část se upnula k táhlu se snímačem síly a deformace.

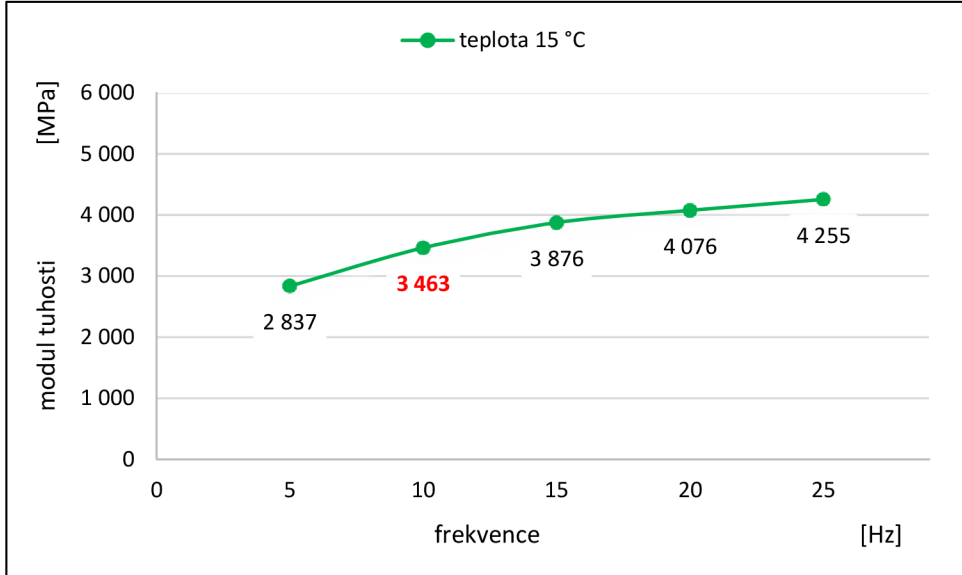


Obrázek 41: Zkušební těleso upevněné ve zkušebním zařízení (30)

Výsledky zkoušky: moduly tuhosti byly měřeny při 15 °C a frekvencích 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz a 25 Hz, přičemž rozhodující výsledky byly při 15 °C a 10 Hz. V následující tabulky a grafy nám shrnují výsledky naměřených modulů tuhosti.

Tabulka 18: Výsledné moduly tuhosti směsi BBTM 8 NH (30)

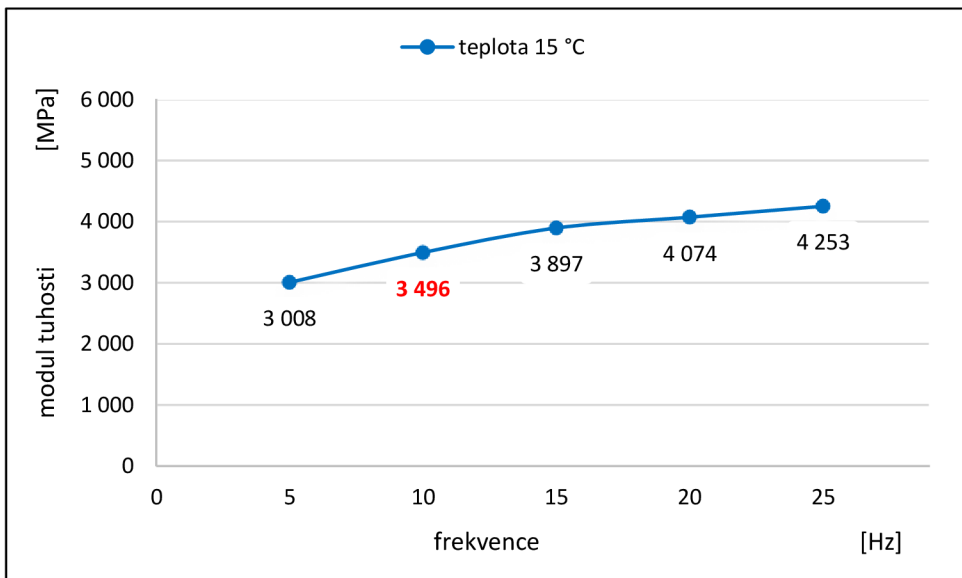
Modul tuhosti [Mpa]						
typy směsi	teplota v °C	frekvence v Hz				
		5	10	15	20	25
BBTM 8 NH	15	2 837	3 463	3 876	4 076	4 255



Graf 15: Modulu tuhosti směsi BBTM 8 NH (30)

Tabulka 19: Výsledné moduly tuhosti směsi SMA 8 NH (30)

Modul tuhosti [Mpa]						
typy směsi	teplota v °C	frekvence v Hz				
		5	10	15	20	25
SMA 8 NH	15	3 008	3 496	3 897	4 074	4 253



Graf 16: Moduly tuhosti směsi SMA 8 NH (30)

Z uvedených výsledků je zřejmé, že moduly tuhostí obou směsí jsou srovnatelné. Z důvodu nízké tuhosti jsou obě směsi vhodné pro tenké obrušné vrstvy, které mají nízký vliv na únosnost celkové tloušťky vozovky.

3. Závěr

Cílem diplomové práce v teoretické části bylo všeobecně popsat asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností s doplněním o popis požadavků na kamenivo, požadavků na asfaltové pojivo, přísady a hlukové emise. V praktické části jsem se zabýval navrhováním dvou typů nízkohlučných asfaltových směsí se sníženou hlučností (BBTM 8 NH a SMA 8 NH).

V teoretické části jsou zpracovány informace nejprve o asfaltových směsích pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností. Zejména asfaltový koberec mastixový se sníženou hlučností (SMA NH), asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy se sníženou hlučností (BBTM NH), asfaltový koberec drenážní (PA) a asfaltový koberec otevřený (AKO). Asfaltová směs typu PA a AKO se v ČR nebude využívat pro obrusnou vrstvu pozemních komunikací. V ČR mají tyto směsi (PA a AKO) využití nejvíce jako podklad pro sportovní hřiště, kdy se na vrstvu z asfaltového koberce drenážního pokládá umělý povrch (hmota dobře zateče do otevřené struktury asfaltové směsi. Dále byla teoretická část doplněna o požadavky na kamenivo, požadavky na asfaltové pojivo a přísady, které se nachází v TP 259. Poslední kapitolou teoretické části jsou hlukové emise, ve které se například nachází metody pro měření hluku od dopravy. Zejména statická metoda při průjezdu (SPB), metoda malé vzdálenosti (CPX), metoda Controlled Pass-By (CPB) a metoda On-Board Sound Intensity (OBSI).

V praktické části jsem se nejdříve zabýval zkouškami vstupních materiálů pro asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy se sníženou hlučností a asfaltový koberec mastixový se sníženou hlučností, kterými byly kamenivo a asfaltové pojivo. Na kamenivu jsem provedl zkoušky dle ČSN EN 933-1 Stanovení zrnitosti, dále dle ČSN EN 933-4 Stanovení tvaru zrn a dle ČSN EN 1097-6 Stanovení objemové hmotnosti a nasákavosti (nasákavost). Výsledky zkoušek jsou znázorněny v kap. 2.1.1.1., kap. 2.1.1.2 a kap. 2.1.1.3. Na asfaltovém pojivu jsem provedl zkoušky dle ČSN EN 1426 Stanovení penetrace jehlou, dále dle ČSN EN 1427 Stanovení bodu měknutí a dle ČSN EN 13398 Stanovení vratné duktility. Výsledky zkoušek jsou znázorněny v kap. 2.1.2.1., kap. 2.1.2.2. a kap. 2.1.2.3.

Následně jsem navrhoval recepturu pro asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy se sníženou hlučností o maximální velikosti zrna 8 mm (BBTM 8 NH). Návrh je dle TP 259 a je uveden v kap. 2.1.2. Z navržené receptury pro BBTM 8 NH jsem namíchal jednu sadu Marshallových těles dle ČSN EN12697-35, na kterých jsem provedl zkoušky dle ČSN EN 12697-5 Stanovení maximální objemové hmotnosti, dále dle ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa a dle ČSN EN 12697-8 Stanovení mezerovitosti. Výsledky zkoušek jsou znázorněny v kap. 2.2.3., kap. 2.2.4. a kap. 2.2.5.

Po navržení a odzkoušení směsi BBTM 8 NH jsem navrhoval asfaltový koberec mastixový se sníženou hlučností o maximální velikosti zrna 8 mm (SMA 8 NH). U asfaltové směsi SMA 8 NH byl postup zcela totožný jako u BBTM 8 NH, pouze jsem vyrobil dvě sady Marshallových těles s různým obsahem asfaltového pojiva. Následně jsem opět provedl zkoušky dle ČSN EN 12697-5 Stanovení maximální objemové hmotnosti, dále dle ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa dle ČSN EN 14697-8 Stanovení mezerovitosti. Výsledky zkoušek jsou znázorněny v kap. 2.3.3., kap. 2.3.4. a kap. 2.3.5.

Vypočítané mezerovitosti asfaltových směsí BBTM 8 NH a SMA 8 NH jsem porovnal a vybral návrh SMA 8 NH, který se nejvíce svou mezerovitostí rovnal BBTM 8 NH. Protože stanovení objemové hmotnosti dle ČSN EN 12697-6 metodou B způsobuje při výpočtu mezerovitosti dle ČSN EN 12697-8 rozptyly výsledků, které jsou způsobeny vniknutím vody do každého vzorku jinak, můžeme říct, že rozptyl 0,2 % mezi mezerovitostí směsi BBTM 8 NH a směsi SMA 8 NH při 6,4 % obsahu asfaltového pojiva je zanedbatelný.

Po výpočtu a výběru srovnatelných návrhů asfaltových směsí BBTM 8 NH a SMA 8 NH jsem si tyto směsi namíchal a následně, dle ČSN EN 12697-33 metodou užívající lamely zatlačované válcem, vyrobil desková zkušební tělesa. Na vyrobených zkušebních deskách jsem provedl zkoušky Měření útlumu hluku pomocí akustické impedanční trubice. Z grafu 13 této práce, kde jsou shrnuté výsledné koeficienty akustické pohltivosti, je zřejmé, že vyšší akustický útlum hluku má směs BBTM 8 NH. Vysvětlují si to tím, že struktura směsi SMA 8 NH má více hrubší frakce a na povrchu tvoří zrna větší plochy, na kterých se zvukové vlny odráží více než na struktuře

BBTM 8 NH. Na grafu 13 byl znázorněn i asfaltový beton pro obrusné vrstvy (ACO 8), který prakticky nemá žádnou akustickou pohltivost.

Dále jsem provedl dle ČSN EN 12697-22 Zkoušku pojíždění kolem. Z výsledných hodnot zkoušky je zřejmé, že asfaltová směs SMA 8 NH má menší vyjetou hloubku koleje a tudíž má lepší odolnost proti trvalým deformacím.

Poslední zkouškou byla dle ČSN EN 12697-26 Tuhost. Z výsledků je zřejmé, že moduly tuhostí obou směsí jsou srovnatelné. Pokud by se navrhovala při novostavbě jako obrusná vrstva NH, bylo by zapotřebí celou konstrukci vozovky přepočítat nejlépe programem LAYEPS s využitím hodnot modulů např. z této diplomové práce.

4. Seznam použitých zdrojů

- (1) TP 259, *Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností*. MD ČR, 2017.
- (2) EUROVIA CS, *VIAPHONE Tenká obrusná vrstva s nízkou hlučností*.
Dostupné z:
<https://www.eurovia.cz/storage/app/uploads/public/5b9/ce4/bad/5b9ce4bad69b6056137254.pdf>
- (3) Jan Zajíček a kol., *Technologie stavby vozovek*. ČKAIT, 2014. Kniha.
- (4) Petr Hýzl & Vladimír Adamec, *Snižování dopravního hluku pomocí hutněných asfaltových vrstev*.
Dostupné z:
https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/actaenvi/ActaEnvi_2012_Suppl.1/07_S_Hyzl_Adamec_Acta2012_Suppl_1.pdf
- (5) EUROVIA Services, *Zavádění směsí s nižší hlučností*. České dopravní fórum, 2013.
Dostupné z:
<https://docplayer.cz/15917532-Ceske-dopravni-forum-31-10-2013-eurovia-services-s-r-o-centralni-laborator-ing-petr-bures.html>
- (6) Petr Hýzl, *Praktické aplikace v pozemních komunikacích*. Modul 6, asfaltové směsi, 2006.
- (7) TKP 7, *Hutněné asfaltové vrstvy*. MD ČR, 2008.
- (8) Michal Varaus, *Asfaltové směsi zpracováváné za horka*. VUT v Brně, fakulta stavební, obor pozemních komunikací. Přednáška.
- (9) Hluk & Emise, *Limity*. Dostupné z:
<http://hluk.eps.cz/hluk/limity/>
- (10) Vítězslav Křivánek, *Problematika hlučnosti povrchů vozovek*. Centrum dopravního výzkumu, 2010.
- (11) Vítězslav Křivánek, Rudolf Cholava, Karel Effenberger, *Měření a srovnání hlučnosti různých druhů komunikací v ČR metodou CPX*. Centrum dopravního výzkumu, 2014.
- (12) Vítězslav Křivánek, *Měření hluku z pozemních komunikací*. Centrum dopravního výzkumu, 2019.

- (13) Acoustical and Vibrations Engineering Consultants, *On-Board Sound Intensity (OBSI) System*.
Dostupné z:
https://www.avec-engineering.com/resources/AVEC_OBSI_brochure.pdf
- (14) ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor, 2012.
- (15) ČSN EN 933-4 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index, 2008.
- (16) ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti, 2014.
- (17) COLAS, Astech. Dostupné z:
<http://www.colas.cz/static/soubory/stranka-129/katalogovy-list-161.pdf>
- (18) ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou, 2015.
- (19) ČSN EN 1427 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička, 2016.
- (20) ČSN EN 13398 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů, 2018.
- (21) ČSN EN 12697-35 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 35: Laboratorní výroba směsi, 2007.
- (22) ČSN EN 12697-30 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem, 2019.
- (23) ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti, 2019.
- (24) ČSN EN 12697-6 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa, 2012.
- (25) ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí, 2019.

- (26) ČSN EN 12697-33 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek, 2019.
- (27) Jaroslav Smutný, Železniční konstrukce II, Přednáška č. 7a.
- (28) ČSN EN 12697-22 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem, 2008.
- (29) ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost, 2019.
- (30) Vlastní zpracování.

5. Seznam tabulek

Tabulka 1: Požadavky na kamenivo a přídavný filer pro asfaltové směsi obrusných vrstev se sníženou hlučností typu SMA NH a BBTM NH (1).....	23
Tabulka 2: Doporučené druhy asfaltových pojiv podle třídy dopravního zatížení a použitých směsí včetně přípustné tloušťky vrstev (1).....	24
Tabulka 3: Základní limity pro vnitřní hluk (uvnitř obytných místností) (9).....	26
Tabulka 4: Základní limity pro venkovní hluk (9)	26
Tabulka 5: Výsledky síťového rozboru frakcí kameniva (30)	36
Tabulka 6: Výsledky zkoušek tvarového indexu a nasákavosti (30).....	38
Tabulka 7: Obor zrnitosti kamenivo pro BBTM 8 NH (30)	42
Tabulka 8: Maximální objemová hmotnost stanovena ve vodě (30).....	47
Tabulka 9: Objemová hmotnost Marshallových těles (30).....	48
Tabulka 10: Výsledná hodnota mezerovitosti směsi (30)	49
Tabulka 11: Obor zrnitosti kamenivo pro SMA 8 NH (30)	49
Tabulka 12: Maximální objemová hmotnost stanovena ve vodě (30).....	51
Tabulka 13: Objemová hmotnost Marshallových těles (30).....	52
Tabulka 14: Výsledná hodnota mezerovitosti směsi (30)	52
Tabulka 15: Hodnoty obsahu asfaltového pojiva a výsledná mezerovitost směsí (30).....	53
Tabulka 16: Přehled parametrů směsí BBTM 8 NH a SMA 8 NH (30)	53
Tabulka 17: Výsledné hodnoty přírůstků hloubky koleje, poměrné hloubky koleje a posouzení korektnosti zkoušek (30).....	63
Tabulka 18: Výsledné moduly tuhosti směsi BBTM 8 NH (30).....	68
Tabulka 19: Výsledné moduly tuhosti směsi SMA 8 NH (30)	68

6. Seznam grafů

Graf 1: Obor zrnitosti kameniva pro směs SMA 8 NH (30).....	14
Graf 2: Obor zrnitosti kameniva pro směs BBTM 8 NH (30)	15
Graf 3: Obor zrnitosti kameniva pro směs PA 8 (30).....	19
Graf 4: Obor zrnitosti kameniva pro směs AKO 8 (30)	21
Graf 5: Vliv rychlosti na hluk ze silniční dopravy v závislosti na podílu nákladních vozidel (10).....	27
Graf 6: Redukce hluku snížením intenzity dopravy (10).....	27
Graf 7: Výsledky síťového rozboru pro frakci 4/8 (30)	36
Graf 8: Výsledky síťového rozboru pro frakci 2/5 (30)	36
Graf 9: Výsledky síťového rozboru pro frakci 0/2 (30)	37
Graf 10: Výsledky síťového rozboru fileru (30)	37
Graf 11: Obor zrnitosti kameniva pro BBTM 8 NH s navrženou křivkou zrnitosti (30)	42
Graf 12: Obor zrnitosti kameniva pro SMA 8 NH s navrženou křivkou zrnitosti (30)	50
Graf 13: Hodnoty akustické pohltivosti směsi BBTM 8 NH a SMA 8 NH (30) ..	59
Graf 14: Vyjádření výsledků v grafické podobě (30).....	64
Graf 15: Modulu tuhosti směsi BBTM 8 NH (30)	68
Graf 16: Moduly tuhosti směsi SMA 8 NH (30).....	68

7. Seznam obrázků

Obrázek 1: Pokládka směsi VIAPHONE, Praha, ul. 5. května (5).....	17
Obrázek 2: Detail drenážního koberce v řádném stavu (vlevo) a detail zaneseného drenážního koberce (vpravo) (6).....	20
Obrázek 3: Zkouška stékavosti pojiva (8)	25
Obrázek 4: Umístění mikrofону při statistické metodě při průjezdu (SPB) (12)	29
Obrázek 5: Reálná ukázka umístění mikrofону při statistické metodě při průjezdu (SPB) (12).....	29
Obrázek 6: Umístění mikrofónů kolem referenční pneumatiky (12)	30
Obrázek 7: Měřicí přívěs CPX (12)	31
Obrázek 8: Umístění sond kolem referenční pneumatiky (13)	32
Obrázek 9: Kamenivo frakce 4/8 (30).....	35
Obrázek 10: Kamenivo frakce 2/5 (30).....	35
Obrázek 11: Kamenivo frakce 0/2 (30).....	35
Obrázek 12: Filer (30)	35
Obrázek 13: Celulózová vlákna (30)	35
Obrázek 14: Provádění zkoušky penetrace jehlou (30).....	39
Obrázek 15: Kroužky s odlitým asfaltovým pojivem (30).....	40
Obrázek 16: Provádění zkoušky bodu měknutí (30)	40
Obrázek 17: Provádění zkoušky vratné duktility 1 (30)	41
Obrázek 18: Provádění zkoušky vratné duktility 2 (30)	41
Obrázek 19: Laboratorní míchačka (30).....	44
Obrázek 20: Ocelová nádoba na namíchanou směs pro jedno zkušební těleso (vlevo) a forma pro výrobu zkušebního tělesa (vpravo) (30)	45
Obrázek 21: Rázový zhutňovač (30)	45
Obrázek 22: Jedna sada Marshallových těles (30)	46

Obrázek 23: Vážení pyknometru se směsí i nástavcem (30)	47
Obrázek 24: Vážení pyknometru se směsí, nástavcem a doplněnou vodou po rysku (30)	47
Obrázek 25: Dvě sady Marshallových těles (30)	51
Obrázek 26: Hutnící zařízení pro metodu užívající válce a svislé lamely (26) .	54
Obrázek 27: Lamelový zhutňovač (30).....	55
Obrázek 28: Hotová zhutněná deska BBTM 8 NH (30).....	56
Obrázek 29: Hotová zhutněná deska SMA 8 NH (30).....	56
Obrázek 30: Pohled na řez deskou směsí BBTM 8 NH (30)	56
Obrázek 31: Pohled na řez deskou směsí SMA 8 NH (30)	56
Obrázek 32: Impedanční trubice Brüel & Kjær Type 4206 s připojenými mikrofony a napojená na řídicí jednotku (30)	58
Obrázek 33: Impedanční trubice ve vertikální pozici před měřením (30)	59
Obrázek 34: Pohled na separační fólii po zkoušce pojíždění kolem (30)	61
Obrázek 35: Pohled na zkušební tělesa po zkoušce pojíždění kolem (30)	63
Obrázek 36: Detail vyjeté koleje (30)	64
Obrázek 37: Vyřezávání zkušebních těles (30).....	65
Obrázek 38: Geometrie zkušebního tělesa (1).....	65
Obrázek 39: Pohled na nařezaná zkušební tělesa (30)	66
Obrázek 40: Nařezaná a nalepená zkušební tělesa s pohledem na jejich strukturu (30).....	66
Obrázek 41: Zkušební těleso upevněné ve zkušebním zařízení (30).....	67